



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

FABRINA TEIXEIRA FERRAZ

**MÉTODO PARA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE FLORESTAS E VAZÕES EM
BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Orientador: Prof. D. Sc. Sidney Sara Zanetti
Coorientador: Prof. D. Sc. Roberto Avelino Cecílio

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
2018

FABRINA TEIXEIRA FERRAZ

**MÉTODO PARA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE FLORESTAS E VAZÕES EM
BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti
Coorientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)
Bibliotecária: Lizzie de Almeida Chaves – CRB-6 ES-000871/O

F369m Ferraz, Fabrina Teixeira, 1994-
Método para análise da relação entre florestas e vazões em bacias hidrográficas / Fabrina Teixeira Ferraz. – 2018.
81 f. : il.

Orientador: Sidney Sara Zanetti.

Coorientador: Roberto Avelino Cecílio.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Bacias hidrográficas. 2. Recursos hídricos. 3. Florestas. I. Zanetti, Sidney Sara. II. Cecílio, Roberto Avelino. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

MÉTODO PARA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE FLORESTAS E VAZÕES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Fabrina Teixeira Ferraz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 22 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti
(Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
(Coorientador)
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

Prof. Dr. Marco Aurélio Costa Caiado
(Membro externo)
Instituto Federal do Espírito Santo – IFES

Dr. João Vitor Toledo
(Membro externo)

In memoriam a Fenelon Oliveira Ferraz e
Wandresson Chagas Teixeira.

À minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, por fornecer subsídios para a realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos meus orientadores, Prof. Sidney e Prof. Roberto, pela orientação, prontidão, disponibilidade e conhecimento compartilhado, de fundamental importância no decorrer desses dois anos.

Aos profissionais Prof. Dr. Marco Aurélio Costa Caiado e Dr. João Vitor Toledo, por aceitarem o convite para participação da banca examinadora, contribuindo para o enriquecimento e melhoria deste trabalho.

Aos demais professores da UFES, a partir dos quais pude adquirir e aprimorar conhecimento.

Aos colegas do Programa que, em algum momento, colaboraram com seus ensinamentos para a realização deste trabalho.

Aos integrantes do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas pela paz mantida, fundamental para o prosseguimento saudável do curso de mestrado.

Às pessoas que conheci nesses 24 meses de UFES e que, de alguma forma, contribuíram para meu crescimento intelectual, emocional e profissional: Francielle Rodrigues, Elayne Galvão, Fabio Lacerda, Carlos Dambroz, Sueliane Andrade, Stefania Pimentel, Marks Moura.

Às demais pessoas incríveis que tive o prazer de conhecer na UFES e em Jerônimo Monteiro, sou grata por multiplicar sorrisos com cada uma delas.

Ao meu amigo Adênio Júnior, por ter me ajudado a me reerguer nos momentos difíceis que me fizeram fraquejar.

À minha mãe, por ter sido a minha força.

A Deus, por tudo.

“O mestre disse a um dos seus alunos: Tu, queres saber em que consiste o conhecimento? Consiste em ter consciência tanto de conhecer uma coisa quanto de não a conhecer. Este é o conhecimento.”

(Confúcio)

RESUMO

FERRAZ, Fabrina Teixeira. **Influência das florestas na vazão de bacias hidrográficas do Espírito Santo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti. Coorientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio.

Os estudos de vazões das bacias hidrográficas são de suma relevância. Contudo, a relação entre a cobertura florestal e as vazões é complexa e ainda controversa no meio científico. Nesse contexto, este trabalho foi proposto com o objetivo de analisar as vazões de 25 sub-bacias hidrográficas do Espírito Santo, investigando sua relação com o percentual de cobertura florestal existente. Utilizaram-se dados anuais de precipitação disponibilizados por Xavier, King e Scalón (2016), para o ano hidrológico de 2007/2008. Os dados anuais de vazão média específica ($q_{\text{méd}}$) e vazão específica mínima média em sete dias consecutivos (q_7) foram obtidos de estações fluviométricas, junto à ANA. Na delimitação das sub-bacias, utilizou-se o MDE SRTM, com resolução espacial de 30 metros. Os dados da cobertura florestal foram obtidos a partir do levantamento aerofotogramétrico realizado pelo IEMA, entre 2007 e 2008. Realizaram-se, utilizando-se dados de todas as sub-bacias, análises de regressão linear simples, regressão múltipla e correlação parcial entre o percentual de cobertura florestal, a precipitação e as vazões. Aplicou-se, também, a análise de agrupamento hierárquico, de modo a agrupar as sub-bacias por características de precipitação, de área e de precipitação e área. A precipitação exerceu forte influência nas vazões para o período analisado, tanto para a análise de todas as sub-bacias em conjunto, quanto para algumas relações nos agrupamentos formados. Maior influência foi observada nas regiões com maior total anual precipitado. Foram encontradas associações significativas entre a floresta e as vazões apenas nos agrupamentos de sub-bacias feitos por total anual precipitado e também por total anual precipitado associado à área das sub-bacias. Verificou-se que a floresta apresentou relação com tendência negativa quando associada, de forma significativa, às q_7 . Do mesmo modo, para a $q_{\text{méd}}$ no agrupamento por precipitação, encontrou-se associação negativa com a cobertura florestal. Ao mesmo tempo, identificou-se que a floresta influenciou positivamente a $q_{\text{méd}}$ no agrupamento formado por precipitação e área. Os resultados demonstram que os agrupamentos

realizados foram determinantes para a obtenção de respostas distintas e detecção de significâncias, sobretudo, quanto à relação entre a cobertura florestal e as vazões. Ainda, indicam que na maioria dos casos não foi observada relação significativa entre floresta e vazão. Porém, é possível que algumas associações não tenham sido detectadas pelos métodos empregados. Nesse sentido, demonstra-se a necessidade do desenvolvimento de novos estudos, em escala de bacias ou grupos de bacias hidrográficas, incrementando-se novas variáveis ambientais, de modo a se obter respostas mais detalhadas do comportamento hidrológico das bacias do estado do Espírito Santo, admitindo-se a complexa relação existente entre a cobertura florestal e seus impactos na vazão dos cursos d'água.

Palavras-chave: uso e ocupação da terra, regime hidrológico, recursos hídricos, cobertura florestal.

ABSTRACT

FERRAZ, Fabrina Teixeira. **Influence of forests on the flow of watersheds of Espírito Santo**. 2018. Dissertation (Master Degree in Forest Sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Adviser: Dr. Sidney Sara Zanetti. Co-adviser: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio.

Studies of river basin flows are extremely important. However, the relation between forest cover and water flows is complex and still controversial in the scientific environment. In this context, this work was proposed aiming to analyze the water flows of 25 sub-basins of Espírito Santo, investigating their relation with the percentage of existing forest cover. Annual precipitation data provided by Xavier, King e Scalon (2016) were used for the hydrological year 2007/2008. The annual data of specific average water flow ($q_{med.}$) and average minimum specific water flow in seven consecutive days (q_7) were obtained from fluviometric stations, together with ANA. In the delimitation of the sub-basins, the MDE SRTM was used, with spatial resolution of 30 meters. The forest cover data were obtained from the aerophotogrammetric survey conducted by IEMA between 2007 and 2008. Analysis of simple linear regression, multiple regression and partial correlation between the percentage of forest cover, precipitation and flows were performed, using data from all sub-basins. The analysis of hierarchical grouping was also applied, in order to group the sub-basins by precipitation, area and precipitation characteristics and area. Significant associations were found between the forest and the water flows only in the groupings of sub-basins made by precipitated annual total and by precipitated annual total associated to the area of the sub-basins. It was verified that the forest showed a relation with negative tendency when associated, to a significant extent, with q_7 . Likewise, for rainfall grouping, there was a negative association with forest cover. At the same time, it was identified that the forest positively influenced the q_{med} in the cluster formed by precipitation and area. The results show that the clusters performed were determinant to obtain distinct answers and significance detection, especially regarding the relation between the forest cover and the water flows. Moreover, they indicate that in most cases no significant relationship was observed between forest and water flow. However, it is possible that some associations have not been detected by the methods used. In this sense, it is demonstrated the need to

develop new studies, in scale of basins or groups of hydrographic basins, increasing new environmental variables, in order to obtain more detailed answers of the hydrological behavior of the basins of the state of Espírito Santo, assuming the complex relation between forest cover and its impacts on the water flows.

Keywords: land use and occupation, hydrological regime, water resources, forest cover.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico e seus componentes.	17
Figura 2 – Disposição dos pontos centrais da grade de precipitação no estado do Espírito Santo.	25
Figura 3 – Espacialização da precipitação pluviométrica anual do ano hidrológico de 2007/2008 para o estado do Espírito Santo.	27
Figura 4 – Estações fluviométricas utilizadas para a obtenção dos dados de vazão.	28
Figura 5 – Fluxograma de obtenção dos dados topográficos digitais e delimitação das sub-bacias hidrográficas.	30
Figura 6 – Distribuição espacial das 25 sub-bacias delimitadas no Espírito Santo. ...	32
Figura 7 – Mapa de uso da terra para o estado do Espírito Santo, em 2007/2008. ...	33
Figura 8 – Fluxograma das etapas seguidas para a análise estatística do conjunto de dados.	35
Figura 9 – Gráficos das equações de regressão significativas entre a precipitação total anual (P_a) e as vazões $q_{méd}$ e q_7 para as sub-bacias em estudo.	39
Figura 10 – Dendrograma obtido com o agrupamento das sub-bacias, em função da precipitação pluviométrica, usando o método de Ward.	41
Figura 11 – Disposição dos grupos de sub-bacias formados no AGH em função da precipitação pluviométrica.	42
Figura 12 – Gráficos das relações significativas da regressão simples para os grupos formados em função da precipitação.	44
Figura 13 – AGH das sub-bacias por características de área de drenagem.	49
Figura 14 – Disposição dos grupos de sub-bacias formados no AGH em função da área de drenagem.	50
Figura 15 – Gráficos das relações significativas da regressão simples para os grupos formados em função da área de drenagem.	52
Figura 16 – AGH por características de áreas de drenagem e de precipitação similares entre si.	54
Figura 17 – Disposição dos grupos de sub-bacias formados no AGH em função da precipitação pluviométrica e da área de drenagem.	55
Figura 18 – Gráficos das relações significativas da regressão simples para os grupos formados em função da área e precipitação das sub-bacias.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Identificação das estações fluviométricas utilizadas na realização deste trabalho.	29
Tabela 2 – Dados de vazão, precipitação e cobertura florestal obtidos para as sub-bacias do Espírito Santo.	38
Tabela 3 – Relações das vazões com o percentual de cobertura florestal e com a precipitação pluviométrica nas 25 sub-bacias estudadas.	39
Tabela 4 – Relação das vazões com o percentual de floresta e a precipitação total anual (regressão linear múltipla e correlação parcial).	40
Tabela 5 – Caracterização dos grupos formados em função da precipitação pluviométrica.	43
Tabela 6 – Relação das vazões com o percentual de floresta e com a precipitação total anual, para os grupos formados em função da precipitação.	43
Tabela 7 – Relação das vazões com o percentual de floresta e precipitação total anual, para os grupos formados por regiões homogêneas de precipitação (regressão linear múltipla e correlação parcial).	44
Tabela 8 – Caracterização dos grupos formados em função da área de drenagem das sub-bacias.	51
Tabela 9 – Relação das vazões com o percentual de floresta e com a precipitação nos grupos formados em função da área de drenagem das sub-bacias.	51
Tabela 10 – Relação das vazões com o percentual de floresta e precipitação total anual (Pa), para os grupos formados no AGH por características de área de drenagem das sub-bacias.	53
Tabela 11 – Caracterização dos grupos formados em função da área de drenagem e precipitação das sub-bacias.	56
Tabela 12 – Relação das vazões com a cobertura florestal e com a precipitação para os grupos formados em função da área e precipitação das sub-bacias.	57
Tabela 13 – Relação das vazões com o percentual de floresta e precipitação total anual (Pa), para os grupos formados em função da área e precipitação das sub-bacias.	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. A ÁGUA E O CICLO HIDROLÓGICO	15
3.2. ANTROPIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E A VAZÃO	17
3.3. A INFLUÊNCIA DA FLORESTA NA VAZÃO DO CURSO D'ÁGUA	19
4. METODOLOGIA	24
4.1. ÁREA EM ESTUDO	24
4.2. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	25
4.3. VAZÃO	27
4.4. DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS	30
4.5. COBERTURA FLORESTAL	32
4.6. ANÁLISE DOS DADOS	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1. RELAÇÃO ENTRE VAZÕES, COBERTURA FLORESTAL E PRECIPITAÇÃO PARA O ESPÍRITO SANTO	37
5.2. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO (AGH)	41
5.2.1. AGH por características de precipitação pluviométrica	41
5.2.2. AGH por características de área de drenagem das sub-bacias	48
5.2.3. AGH por características de área de drenagem e precipitação pluviométrica	54
6. CONCLUSÕES	63
7. REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

Componente primordial na manutenção da vida na Terra, a água é também insumo para as mais diversas atividades humanas. Nesse sentido, o entendimento acerca desse bem de consumo – como ele se apresenta e se conecta com os demais fatores do meio – é imprescindível, posto que a sua disponibilidade está fortemente relacionada com a adequada gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas.

Embora o Brasil seja historicamente marcado pelas diferenças regionais quanto ao volume disponível de água, nos últimos anos a seca e a escassez hídrica têm sido preocupantes. Na região sudeste, a mais populosa do país, o cenário também é crítico. Entre 2014 e 2015, as precipitações ficaram abaixo da média em grande parte das estações avaliadas, refletindo no regime fluviométrico das bacias correspondentes (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, 2016). Em 2016, as condições permaneceram atípicas, com instabilidade das precipitações (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET, 2016). O paradoxo disso está no Brasil possuir expressivos 12% da água doce do planeta (AUGUSTO et al., 2012), fato que traz à tona discussões sobre o planejamento e padrão de consumo da água no país.

No Espírito Santo, em 2015, 38% dos municípios decretaram situação de emergência ou calamidade pública em decorrência de eventos críticos de seca (ANA, 2016). Em 2016, a crise hídrica foi prolongada mediante à escassez de chuvas, submetendo 32 dos 78 municípios à condição crítica, de emergência ou calamidade, quanto ao abastecimento de água (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS – AGERH, 2016). Isso expõe, até certo ponto, a suscetibilidade do estado frente às alterações no regime de chuvas e as implicações disso nos setores produtivos e no abastecimento urbano. Nesse contexto, é possível inserir o estudo das bacias do estado e suas disponibilidades hídricas como peça-chave para uma revisão sobre a administração de tais recursos, de modo que sejam evitados ou minimizados as perdas econômicas e o colapso na distribuição de água.

A disponibilidade hídrica, em quantidade, pode ser verificada a partir da vazão dos cursos d'água, “utilizada pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente aquático.” (CRUZ; TUCCI, 2008, p. 112). Esse componente representa uma síntese complexa entre parâmetros hidrológicos,

relacionando-se diretamente com o comportamento do rio, mediante aos sinais climáticos e alterações na paisagem (MACHADO; MELLO JUNIOR; WENDLAND, 2017).

As alterações no uso da terra são apontadas como causadoras potenciais de modificações no equilíbrio ecológico das bacias hidrográficas (GARDIMAN JUNIOR et al., 2012). Quanto à vazão, a influência que a antropização exerce, sobretudo no que se refere à cobertura florestal das bacias, ainda é controversa no meio científico. Isto decorre do fato de a relação entre floresta e vazão ser complexa e envolver diversos fatores (BALBINOT et al., 2008).

Do ponto de vista ambiental e de qualidade da água, o papel das florestas é reconhecido em diferentes estudos (CAPOANE et al., 2016; DOUBRAWA et al., 2014; PEREIRA et al., 2016b). Entretanto, o entendimento da sua função no aumento da disponibilidade hídrica dos rios vai de encontro, muitas vezes, à percepção popular tradicional de que as florestas, de fato, favorecem a produção quantitativa de água (APARECIDO et al., 2016; BENT, 2001; HORNBECK et al., 1993). Todavia, ressalta-se a singularidade das bacias hidrográficas, as quais podem assumir um comportamento distinto dependendo do ambiente no qual estejam inseridas (ANDRÉASSIAN, 2004).

Nessa perspectiva, diversos estudos foram desenvolvidos sobre esse tema, com o intuito de verificar a influência da cobertura florestal na disponibilidade hídrica de cursos d'água. Contudo, nota-se que a relação entre as florestas e as vazões se mostra variável e imprevisível em muitos casos (BENT, 2001; HIBBERT, 1967; LATUF, 2007; MENDES, 2016; SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010; TRANCOSO, 2006). Em virtude dessa inconclusividade, novos estudos mais detalhados se mostram válidos e necessários, a fim de possibilitar um melhor entendimento sobre esse tema.

O estado do Espírito Santo é diverso no que se refere aos usos da terra, condições climáticas e cobertura florestal. Nesse sentido, o desenvolvimento de estudos científicos sobre a relação floresta *versus* vazão, voltados para a realidade do estado, e que permitam a quantificação da significância desta relação, são úteis e de grande importância, posto que o manejo mais adequado de uma área deve ser realizado com base no conhecimento dos fatores relacionados ao local.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar as vazões de sub-bacias hidrográficas do estado do Espírito Santo, investigando sua relação com o percentual de cobertura florestal existente nas sub-bacias.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter dados de precipitação espacializados para o estado do Espírito Santo para o ano hidrológico de 2007/2008;
- Encontrar a vazão específica das bacias hidrográficas em estudo para o ano hidrológico de 2007/2008;
- Conhecer a quantificação das áreas de cobertura florestal para cada sub-bacia em estudo;
- Relacionar as vazões específicas com os percentuais de floresta nas sub-bacias, a partir de análises conjuntas de todas as sub-bacias e a partir de agrupamentos mais homogêneos, considerando precipitação e área de drenagem;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A ÁGUA E O CICLO HIDROLÓGICO

Fator fundamental para a manutenção da vida na Terra, a água é um componente dinâmico, impulsor de ciclos ecológicos e integrante de diversas atividades biológicas e sociais. Bacci e Pataca (2008), ao abordarem sobre o papel da educação como agente transformador das questões relacionadas à água e seu uso, iniciam sua contextualização destacando a água como moldadora da história, das espécies e das futuras gerações.

Para Bruni (1993), a água integra a vida da população de forma muito mais profunda do que possa parecer: é essencial para a conservação da ordem doméstica e garantia de vida, condiciona o estabelecimento de pessoas e o abastecimento de cidades, sendo o material mais usado pela indústria, além de ser elemento místico e simbólico em diversas culturas ao redor do mundo. Balbinot et al. (2008, p. 132) complementam que “A água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interferindo na fauna e flora, e interagindo com os demais elementos da natureza e seu meio.”.

Embora se ressalte a multiplicidade de usos, destaca-se que do total de água presente no planeta Terra, apenas cerca de 2,5% não estão nos oceanos. Destes, a maior parte (68,7%) apresenta-se sob a forma de gelo em regiões polares, impossibilitando sua utilização pelo homem, e no subsolo. O restante, menos de 0,3%, equivalente a cerca de 90.000 km³, encontra-se nos lagos e rios, disponíveis para uso (SHIKLOMANOV, 1993).

O “*Environmental Outlook to 2050*”, da *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD), em suas principais conclusões sobre a água, projetou que até 2050, 3,9 bilhões de pessoas viverão sob estresse hídrico, e que a procura por água aumentará 55%, sobretudo para uso doméstico, indústria e eletricidade (OECD, 2012). O documento destaca a importância da criação de políticas governamentais para enfrentar os desafios quanto ao uso em quantidade e qualidade, com impactos na disponibilidade da água para a população.

Em 1992, a Conferência Internacional sobre a Água e Meio Ambiente (*International Conference on Water and the Environment – ICWE*) abordou, pela

primeira vez, a necessidade da administração dos recursos hídricos para minimizar as ameaças ao desenvolvimento sustentável e à sobrevivência futura de milhões de pessoas. Na Declaração de Dublin, resultante dessa Conferência, estabeleceu-se recomendações aos países com base nos princípios: I) A água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial para a vida e o meio ambiente; II) A gestão da água deve ser feita de modo participativo; III) A inserção da mulher na provisão, gestão e salvaguarda da água; e IV) A água deve ser reconhecida como bem econômico (ONU, 1992).

No Brasil, a proteção das águas é estabelecida pela Constituição Federal de 1988, que reconhece o acesso à água potável como direito humano fundamental, dividindo-se a tutela entre a União, estados, distrito federal e municípios, o que possibilita a geração de garantias, políticas e instituições jurídicas para a proteção desse bem para a atual e as futuras gerações (AITH; ROTHBARTH, 2015).

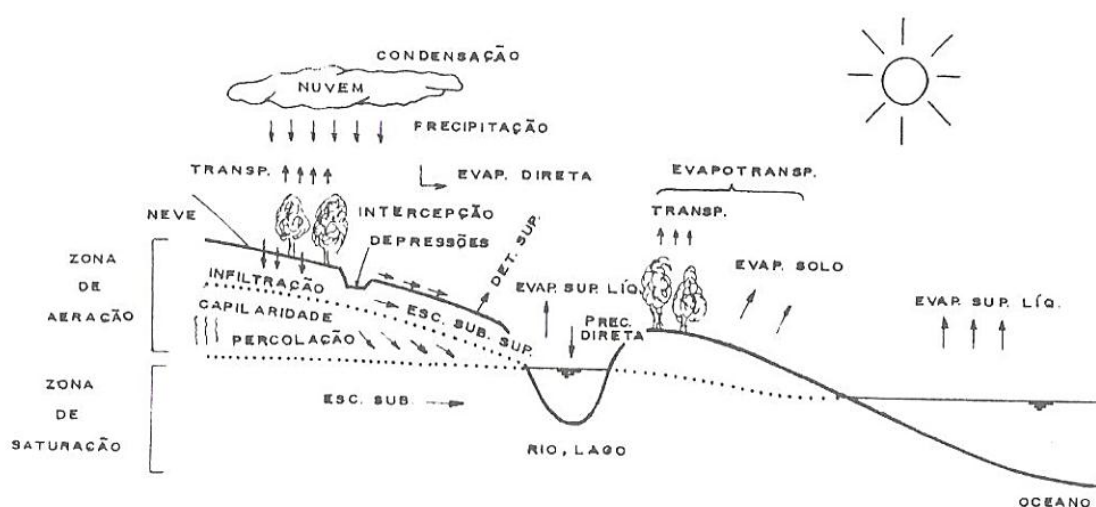
Constituído de aproximadamente 12% das reservas de água doce da Terra, o Brasil é um país privilegiado nesse sentido. Entretanto, cabe dizer que a distribuição desse recurso é irregular (no espaço e no tempo), sendo que a maioria dos brasileiros (cerca de 95%) usufrui de menos de 30% da água doce disponível (AUGUSTO et al., 2012; LIMA, 2001; TUNDISI, 2008). A partir desse entendimento, o estudo de como a água do planeta se apresenta, se movimenta e se distribui, é fator importante para a melhor gestão dos recursos hídricos disponíveis e atenuação de problemas relacionados à escassez hídrica no Brasil. Assim, o conhecimento do ciclo hidrológico se mostra fundamental.

Conforme elucidado por Silveira (1997), o ciclo hidrológico é um processo no qual a água circula entre a superfície da Terra e a atmosfera. Isto se dá com grande variabilidade no globo, condicionando-se à energia solar, à temperatura dos continentes em relação aos oceanos, à composição da atmosfera, à variabilidade de solos e vegetação, e à rotação e inclinação da Terra.

Como parte do ciclo hidrológico, a água se encontra presente em todas as fases: gasosa, sólida e líquida, sendo esta última a de maior relevância para o homem, posto que se encontra prontamente disponível. Nesse ciclo dinâmico, os principais componentes são a evapotranspiração, a precipitação, a percolação, a infiltração e a drenagem (TUNDISI, 2003).

Para a compreensão do ciclo hidrológico (Figura 1), pode-se descrevê-lo iniciando-se com a precipitação como principal transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre. Ao cair sobre a vegetação, parte do volume de água é interceptado. O excedente vai para o solo, onde ocorre infiltração até o ponto de saturação, no qual o excesso não infiltrado gera escoamento. No geral, a água escoada destina-se ao oceano. A evapotranspiração, ocorrente em quaisquer tempo e local onde a água circula, fecha o ciclo (SILVEIRA, 1997).

Figura 1 – Ciclo hidrológico e seus componentes.



Fonte: Silveira (1997, p. 38).

O ciclo hidrológico terrestre e seus componentes são influenciados pelas características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica, sobretudo em relação à infiltração, evapotranspiração e escoamentos superficial e sub-superficial (TONELLO et al., 2006). Verifica-se, então, que a compreensão do balanço hídrico, dos fatores que podem influenciá-lo e dos impactos disso na qualidade e quantidade da água, possibilita a geração de mecanismos viáveis para o manejo de bacias, facilitando a tomada de decisões quanto ao uso sustentável dos recursos hídricos.

3.2. ANTROPIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E A VAZÃO

O conceito de bacia hidrográfica pode ser compreendido conforme a definição de Silveira (1997, p. 40), que a caracteriza como: “uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída,

seu exutório.” Em complemento, Porto e Porto (2008) apresentam a bacia hidrográfica como um local onde acontecem balanços hídricos, de tamanho variável de acordo com a problemática de interesse e sobre a qual se desenvolvem as atividades humanas.

No território brasileiro, estabeleceu-se uma divisão hidrográfica em regiões cujas diferenças sociais, culturais, econômicas e ecológicas a justificam, relacionando-se a gestão dos recursos hídricos às configurações locais (PORTO; PORTO, 2008). As Regiões Hidrográficas (RH's) do Brasil são: Amazônica, Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Parnaíba, São Francisco, Tocantins-Araguaia, Uruguai, Paraguai e Paraná (ANA, 2007).

As alterações nas bacias hidrográficas provocadas pelas atividades antrópicas podem ter resposta no equilíbrio destas, sendo responsáveis, dentre outros fatores, pela ocorrência de erosão, perda de biodiversidade e comprometimento da água, em qualidade e quantidade. Desta maneira, o planejamento das atividades humanas é fundamental na manutenção da integridade dos serviços ambientais (GARDIMAN JUNIOR et al., 2012).

Com relação a isso, alguns estudos fazem considerações acerca dessa antropização nas bacias hidrográficas e o quão impactante isso pode ser, com efeitos na condição térmica do ambiente (PEREIRA et al., 2016b), na composição nutricional do solo (CAPOANE et al., 2016), na estrutura da paisagem (SANTOS; SANO; SANTOS, 2016), na qualidade da água (PEREIRA et al., 2016a), no escoamento e produção de sedimentos (CABRAL; REIS, 2015; SILVA et al., 2016), na vazão máxima de escoamento (CARVALHO et al., 2014), na vazão mínima (ALMEIDA; SILVA; RODRIGUES, 2013), entre outros.

Salienta-se que, apesar dessa influência, normalmente, as modificações no regime hidrológico de uma bacia são percebidas em ocasião de eventos extremos, tais como estiagens ou inundações severas, produção e transporte de sedimentos e aporte de nutrientes em mananciais, que comprometem a qualidade da água (ANDRADE; DE MELLO; BESKOW, 2013).

A ocorrência de eventos extremos assume caráter negativo, uma vez que pode comprometer aspectos sociais, ambientais e econômicos. As secas severas afetam o fornecimento de água para abastecimento humano, industrial, produção

agropecuária, entre outros; as cheias, por outro lado, se relacionam a grandes perdas econômicas, afetam o desenvolvimento de regiões e, ainda, podem causar tragédias, acarretando perda de vidas (FERREIRA; REIS; MANDONÇA, 2015).

Sob esta ótica, os estudos hidrológicos são úteis a fim de se conhecer a disponibilidade hídrica das bacias. A oferta de água pode ser determinada a partir das vazões, as quais caracterizam as condições hidrológicas. Machado, Mello Junior e Wendland (2017, p. 2) reforçam esta afirmativa salientando que a vazão representa uma síntese de parâmetros e variáveis da bacia hidrográfica, cujo conhecimento desperta interesse em razão desta ser “a resposta do rio aos sinais climáticos e à modificação da paisagem – desmatamento, expansão da agricultura e urbanização.”

Por vazão, compreende-se como a quantidade de água que passa na seção por unidade de tempo, geralmente expressa em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ou $\text{L}.\text{s}^{-1}$. A vazão ao longo do tempo pode ser obtida com base na relação, denominada curva-chave, entre a leitura dos níveis da água e a vazão, possibilitando substituir a medição contínua das descargas pela medição contínua dos níveis, posto que esta é muito mais fácil de obter que aquela (CHEVALLIER, 2015; TUCCI; MENDES, 2006).

Para caracterizar as condições de disponibilidade de água, as principais vazões utilizadas são as vazões mínima, média e máxima. Estas expressam, conforme elucidado por Tucci (2015), respectivamente: a disponibilidade hídrica em períodos de estiagem, associada a uma frequência e duração; a capacidade de disponibilidade hídrica, o potencial energético e outros usos de uma bacia; e os valores extremos que podem gerar enchentes, utilizada em previsões e no dimensionamento de obras hidráulicas. Há também a vazão específica, a qual relaciona a vazão de uma bacia com sua área de drenagem, aplicável na regionalização de vazões, em estudos comparativos de bacias, entre outros.

3.3. A INFLUÊNCIA DA FLORESTA NA VAZÃO DO CURSO D'ÁGUA

Tradicionalmente, a percepção social acerca do papel da floresta em bacias hidrográficas é a de que áreas mais florestadas produzem mais água do que áreas com outro tipo de cobertura vegetal. Além disso, as florestas também contribuiriam para o aumento da precipitação local, reduziriam inundações e seriam,

necessariamente, sempre boas para o ambiente aquático. Entretanto, é cada vez mais controversa essa afirmativa para a comunidade científica, ampliando-se a visão de que essa relação é mais complexa do que se espera (BALBINOT et al., 2008; CALDER, 2007).

Em seu levantamento sobre o papel da floresta na dinâmica e manutenção de uma bacia hidrográfica, Balbinot et al. (2008) verificaram que fatores como interceptação, precipitação interna e escoamento pelo tronco, por exemplo, também podem ser estudados para analisar os reais efeitos da vegetação na quantidade de água ofertada. Os autores constataram que a floresta tem poucas contribuições para com o volume precipitado local; porém, é imprescindível na regulação do microclima e conservação do solo. Por fim, ressaltam as particularidades de cada local e situação, salientando a necessidade de realização de estudos específicos sobre esse tema, a fim de subsidiar quaisquer intervenções.

Um dos fatores de grande relevância nos estudos que correlacionam a floresta e o regime hidrológico é a evapotranspiração que ocorre nas bacias hidrográficas, cuja magnitude supera muitas vezes a de outros componentes do ciclo hidrológico, com implicações comprovadas nas vazões anuais (BACELLAR, 2005). De acordo com Lima (2008), a natureza da vegetação, seu albedo, sua área de ocupação do solo (área foliar) e a profundidade do sistema radicular são fatores relacionados à cobertura florestal que controlam o processo de evapotranspiração. Ainda, por apresentarem maiores coeficientes de absorção de radiação de ondas curtas, a taxa de evaporação das florestas é maior do que em outras vegetações de menor porte. Nesse sentido, o balanço de energia explica as causas físicas do comportamento hidrológico de bacias submetidas ao desflorestamento.

Os benefícios exercidos pelas florestas quanto à qualidade ambiental das bacias e dos cursos d'água são reconhecidos em diferentes estudos. Pode-se citar: a melhor qualidade da água de nascentes e proteção dos recursos hídricos (DONADIO; GALBIATTI; PAULA, 2005); a produção de biomassa e armazenamento de carbono, contribuindo para diminuição dos impactos negativos do efeito estufa (DOUBRAWA et al., 2014); a riqueza e abundância de espécies, fundamentais para a conservação da biodiversidade (BONNEL; LAVORANTI; CURCIO, 2009). Além disso, atua na redução e remoção de sedimentos, na redução da energia cinética da

chuva, no escoamento superficial e na conservação do solo (LORANDI; CANÇADO, 2002).

As florestas possuem, ainda, a capacidade de facilitar a infiltração e recarga de água no solo, pela existência da serapilheira e de um horizonte A rico em matéria orgânica, que melhoram a porosidade, especialmente a macroporosidade, proporcionada por raízes mortas e cavidades de animais (BACELLAR, 2005). Minosso, Antoneli e Freitas (2017) estudaram a infiltração do solo sob floresta nativa e intervenções antrópicas, no inverno e no verão. Os autores verificaram que, apesar de as áreas fazerem parte de uma única unidade territorial e com semelhante geomorfologia, a floresta apresentou maior valor de infiltração em relação aos demais usos, nos dois períodos analisados, atribuindo-se a isto a menor densidade do solo e presença de matéria orgânica nessas áreas.

Com relação à influência da floresta no regime hidrológico, Hornbeck et al. (1993) realizaram um estudo sobre os impactos a longo prazo de tratamentos florestais de corte e controle de rebrota sobre a produção de água em bacias do nordeste dos Estados Unidos. Como resultados, observou-se: um aumento no rendimento de água no primeiro ano após o corte da floresta, proporcional à área basal removida; o aumento de rendimento pode ser prolongado, controlando-se a rebrota, caso contrário, diminui com o passar do tempo, raramente persistindo por mais de 10 anos; as alterações no rendimento podem persistir por pelo menos 10 anos, em reposta às mudanças na composição das espécies e no clima.

A influência do manejo da floresta na vazão foi também estudada por Bent (2001), o qual trabalhou com duas bacias pareadas¹. No experimento, reduziu-se 34% e 32% de área basal total da primeira e segunda bacia, respectivamente. Os resultados indicaram aumento do fluxo total, escoamento direto e recarga subterrânea por 6 anos e fluxo de base por 2,5 anos na primeira área, e por um ano na segunda. As diferenças seriam justificadas pela localização dos tratamentos, porcentagem das áreas e espécies afetadas, tipos de rebrota e o tempo que separa os períodos de tratamento. O autor destaca, ainda, que os benefícios do manejo para aumento do rendimento de água na área são limitados, podendo-se adotar cortes planejados para obter aumentos temporários de rendimento.

¹ Metodologia na qual são utilizadas bacias similares, submetidas ao monitoramento por vários anos e à calibração, de modo a se ter uma bacia tratada e outra controle. Sobre esse conceito, ver Andréassian (2004, p. 8-9).

Ao investigar a influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos, Vanzela, Hernandez e Franco (2010) correlacionaram dados de ocupação, qualidade e disponibilidade de água. Verificou-se que a vazão específica foi influenciada positivamente pelas áreas de mata, faixas de rodovias pavimentadas e pela pastagem (esta em menor grau), sendo favorecido o seu aumento e a melhoria da qualidade da água. Em contrapartida, as áreas habitadas, agricultadas e de mata degradada, de modo geral, favoreceram a redução da vazão específica e da qualidade da água. Os autores explicaram que isto ocorre, provavelmente, devido à capacidade de manutenção do armazenamento de água pela vegetação, permitindo inferir que o escoamento de base contribuiu predominantemente para as alterações nas vazões específicas.

Similar a isto, Aparecido et al. (2016) estudaram quatro bacias, considerando dados de vazão e sedimentos, uso e ocupação do solo, declividade e escoamento superficial, obtendo-se modelos matemáticos. Observou-se que as áreas de mata nativa promoveram redução na produção de sedimentos e na vazão média específica, enquanto as áreas urbanizadas promoveram aumento, além de aumentar a concentração média de sólidos totais.

Andréassian (2004) traz um debate sobre as perspectivas históricas e modernas a respeito da relação da floresta e seu impacto hidrológico, com resultados de experimentos de 137 bacias pareadas. Como conclusão do estudo, o autor considera, entre outros aspectos, que o impacto hidrológico das florestas é comprovado; porém, bacias em diferentes contextos climáticos e pedológicos, e floresta em diferentes condições fisiológicas, interagem de maneira distinta. O autor destaca também a necessidade da pesquisa em escala de bacia hidrográfica para promover o entendimento do impacto da floresta no regime hidrológico.

Ao monitorar o uso do solo por 15 anos, associando as mudanças ocorridas ao regime das vazões de bacias hidrográficas, Latuf (2007) observou tendência à diminuição das vazões máxima, mínima e média, atrelada ao aumento das classes de mata², cultivo, urbanização e reservatórios. Observou-se, também, que os ajustes das equações de regressão mostraram-se satisfatórios para as vazões máximas, mínimas e médias para quatro, seis e três estações, respectivamente, das oito

² De acordo com a classificação adotada pelo autor, a classe mata é caracterizada por estruturas florestais e campestres, incluindo Floresta Densa, Floresta Aberta, Floresta Estacional e Floresta Ombrófila Mista.

estações fluviométricas em análise. Entretanto, em se tratando das vazões específicas, não se chegou a resultados de ajustes satisfatórios.

No estado do Espírito Santo, Mendes (2016) desenvolveu um estudo das vazões na bacia do rio Itapemirim, relacionando-as à precipitação e à cobertura florestal. A autora observou forte influência da precipitação nas vazões. Quanto à floresta, identificou-se uma relação com as variáveis de vazão, especialmente nas sub-bacias maiores. Ressalva-se, porém, que isso não ocorreu na maioria das sub-bacias, provavelmente devido aos métodos aplicados, sobretudo quanto ao mapeamento da bacia, não significando que a associação, de fato, não exista.

Alguns estudos apontam o comportamento imprevisível do efeito da alteração da cobertura florestal no rendimento de água (BENT, 2001; HIBBERT, 1967; TRANCOSO, 2006). Sob essa conjuntura, é perceptível que os resultados voltados a essa temática, em boa parte dos casos, são muito variáveis e condicionados, muitas vezes, ao local de estudo, às condições físicas das bacias, à metodologia utilizada, ao tipo de vegetação, entre outros aspectos.

Nesse sentido, no que tange ao regime hidrológico dos cursos d'água, o papel das florestas ainda é controverso, havendo na literatura um amplo acervo de dados de monitoramento de bacias hidrográficas, a fim de embasar mais profundamente estudos voltados a essa questão. Este fato questionável é explicado pela complexidade do tema e interdependência das variáveis que controlam o comportamento hidrológico de uma bacia (BACELLAR, 2005).

4. METODOLOGIA

No presente tópico serão abordados os meios aplicados para obtenção dos resultados deste estudo. Aqui, constam as informações acerca da área em estudo, aquisição dos dados hidrológicos (vazão), meteorológicos (precipitação) e de cobertura florestal, bem como a metodologia escolhida para análise de tais dados.

4.1. ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo compreende o estado do Espírito Santo, situado na região Sudeste do país, entre as coordenadas 17°53'29" e 21°18'03" de latitude Sul e 39°41'18" e 41°52'45" de longitude Oeste, com área de 46.052,64 km². Segundo a classificação climática de Köppen, o estado apresenta quatro tipos climáticos predominantes: Cwa – clima subtropical de inverno seco e verão quente; Cwb – clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno; Am – clima tropical úmido ou sub-úmido; e Aw – clima tropical com invernos secos (ALVARES et al., 2014).

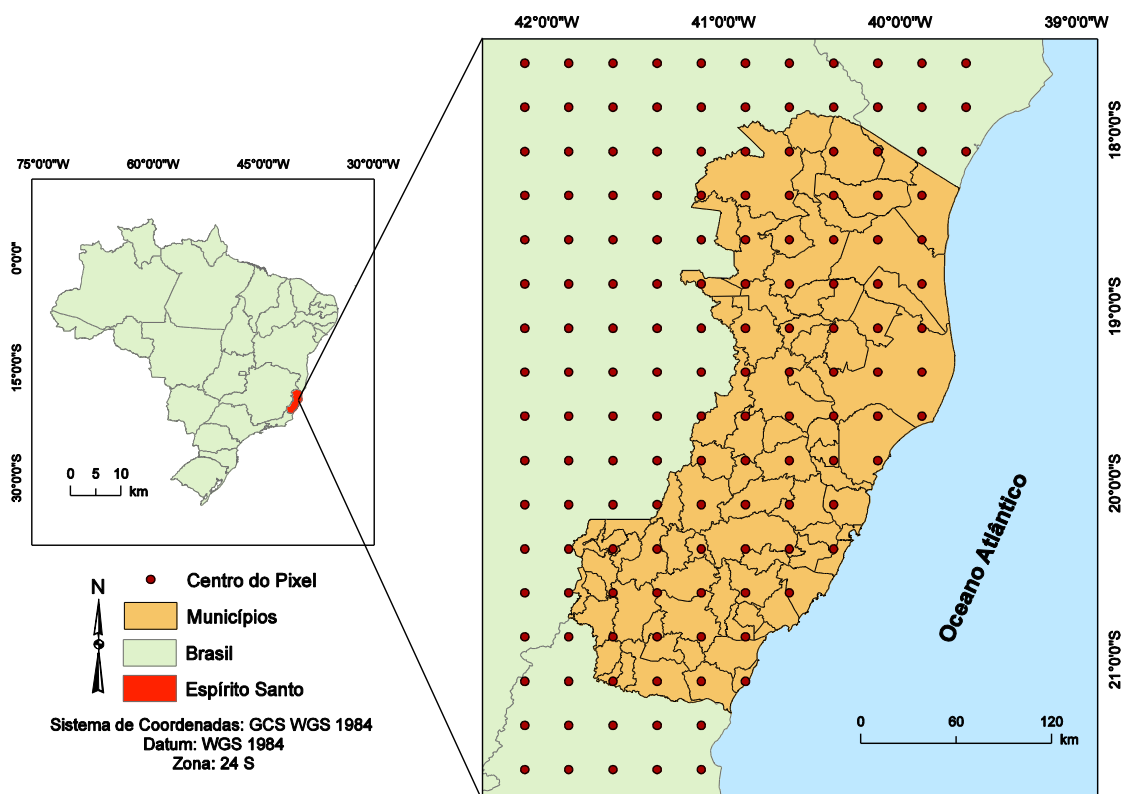
Localizado no bioma Mata Atlântica, o Espírito Santo abriga em sua composição florística: agrupamentos de cobertura florestal do tipo ombrófilo denso, nas encostas voltadas para o mar; Floresta Ombrófila Aberta Submontana, que constitui comunidades de palmeiras, especialmente do gênero *Attalea*; Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas, presente nos tabuleiros costeiros; Floresta Estacional Semidecidual Submontana, presente entre 50 e 500 metros de altitude; e Floresta Estacional Semidecidual Montana, estabelecida em áreas acima de 500 metros de altitude, na região do Caparaó (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2012).

Com relevo caracterizado como montanhoso, o Espírito Santo apresenta expressivas variações de altitude, que vão desde o nível do mar até 2.897 metros, no Caparaó (DE PAULA, 2006). Inserido nas regiões hidrográficas do Atlântico Sudeste e Atlântico Leste, o estado conta ainda com 12 bacias hidrográficas, sendo elas as bacias dos rios Doce, Itapemirim, São Mateus, Itabapoana, Itaúnas, Piraquê-Açu, Santa Maria, Guarapari, Reis Magos, Jucu, Benevente e Rio Novo (ANA, 2017).

4.2. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os dados de precipitação pluviométrica foram adquiridos gratuitamente junto ao sítio eletrônico (<https://utexas.app.box.com/v/Xavier-et-al-IJOC-DATA>), disponibilizado por Xavier, King e Scalon (2016). O referido trabalho é resultado de um projeto de desenvolvimento de *grids* ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) com dados já consistidos para todo o Brasil, a partir da utilização de dados das estações meteorológicas brasileiras, permitindo uma modelagem mais precisa, estando disponível para todos os pesquisadores (Figura 2).

Figura 2 – Disposição dos pontos centrais da grade de precipitação no estado do Espírito Santo.



Fonte: a autora. Base de dados obtida junto ao IBGE (2010) e Xavier, King e Scanlon (2016).

Utilizaram-se dados mensais de precipitação pluviométrica referentes a 2007 e 2008, tendo como base o ano hidrológico (de outubro a setembro). A partir de então, obteve-se a precipitação total anual acumulada (P_a) para cada ponto da grade de dados. De acordo com o histórico da precipitação, obtido para a área, também, a

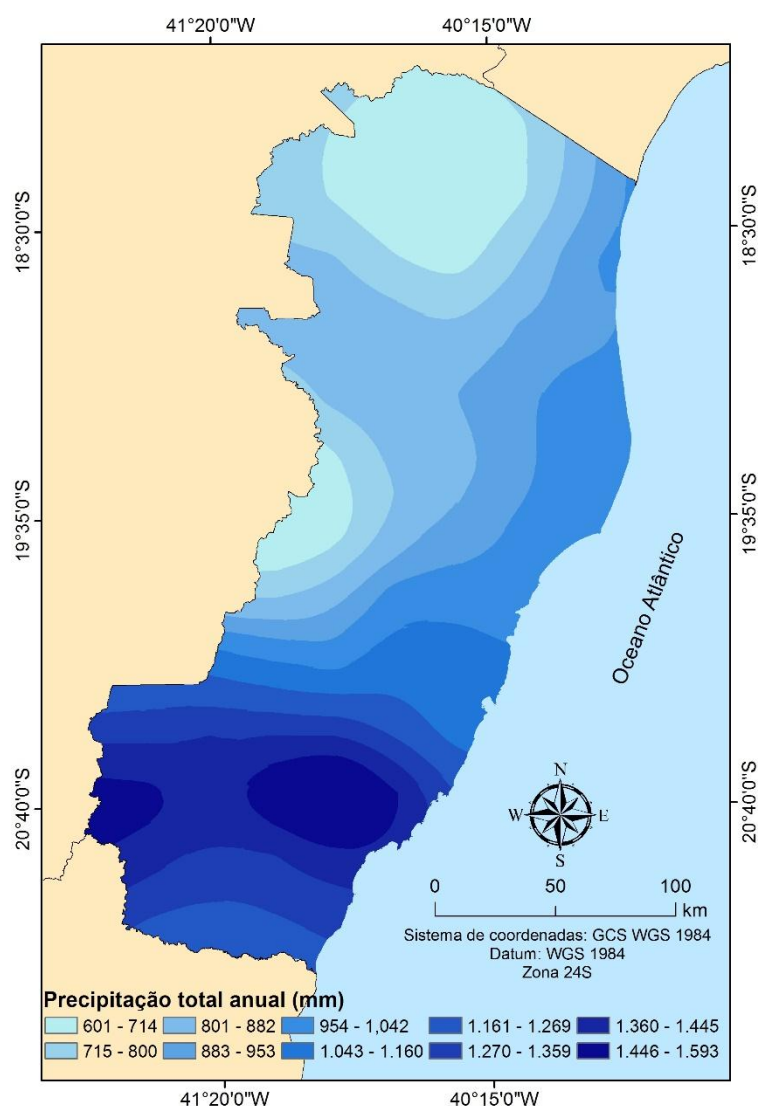
partir dos dados de Xavier, King e Scalon (2016), o ano hidrológico 2007/2008 apresentou média de chuva dentro da normalidade.

Os dados foram extraídos para o estado do Espírito Santo com o auxílio dos programas computacionais ArcGis 10.3 e MATLAB. Disponibilizado como parte do artigo de Xavier, King e Scanlon (2016), pode-se ter acesso a um apêndice com as instruções para *download* e uso dos dados meteorológicos (Anexo A).

Os referidos arquivos de precipitação são disponibilizados em formato NetCDF. Para a visualização inicial do mapa de dados do território brasileiro, utilizou-se o ArcGIS e, em seguida, foi possível identificar e selecionar as coordenadas geográficas dos pixels equivalentes à área em estudo. De posse das coordenadas centrais dos pixels referentes ao estado do Espírito Santo, por meio do software MATLAB, identificaram-se os intervalos de linhas e colunas de dados correspondentes. Posteriormente, executou-se um *script*, o qual possibilitou que fossem extraídos os dados de precipitação mensal para toda a área de interesse e para o período desejado (Apêndice A).

A partir disto, tornou-se possível a elaboração de planilhas eletrônicas contendo os dados de precipitação e as coordenadas geográficas de cada pixel, possibilitando a espacialização da chuva para todo o estado, com 30 metros de resolução espacial, de acordo com a resolução do Modelo Digital de Elevação utilizado como referência de tamanho da célula. A interpolação dos totais precipitados se deu pelo método da Krigagem ordinária, modelo linear, utilizando-se o *software* ArcGIS (Figura 3). Esse método está entre os mais comumente utilizados na interpolação de dados espaciais, mostrando resultados satisfatórios para o estado do Espírito Santo (SILVA et al., 2011).

Figura 3 – Espacialização da precipitação pluviométrica anual do ano hidrológico de 2007/2008 para o estado do Espírito Santo.



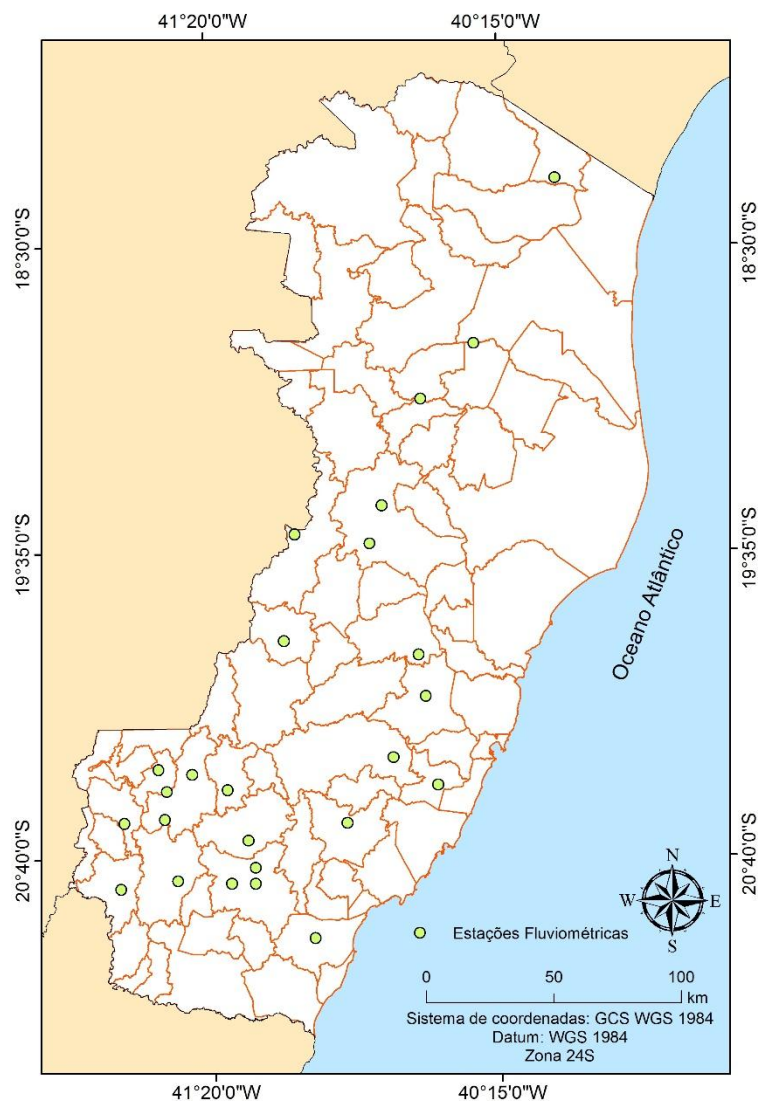
Fonte: a autora. Base de dados obtida junto ao IBGE (2010) e Xavier, King e Scanlon (2016).

4.3. VAZÃO

Os dados de vazão foram obtidos a partir das estações fluviométricas do estado, junto ao Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos (SNIRH), gerenciado pela ANA, para o ano hidrológico de 2007 a 2008. Inicialmente, foram identificadas 299 estações fluviométricas presentes em todo o Espírito Santo. Destas, 42 continham dados de vazão. A partir disso, realizou-se uma seleção, a fim de escolher as estações cujos dados existentes correspondiam ao período de

análise deste estudo (outubro de 2007 a setembro de 2008), das quais foram adquiridos dados diários de vazão (Figura 4).

Figura 4 – Estações fluviométricas utilizadas para a obtenção dos dados de vazão.



Fonte: a autora. Base de dados obtida junto ao IBGE (2010) e à ANA (2010).

No pré-processamento dos dados de vazão, o preenchimento de falhas foi realizado utilizando regressão linear simples, gerada pela relação entre as vazões e as cotas das estações. Estações com maiores percentuais de falhas – acima de 3%, considerando-se o conjunto de dados deste trabalho – foram descartadas, bem como também foram descartadas aquelas estações cujas curvas de vazão apresentaram leituras atípicas dos dados, de acordo com a tendência gráfica observada. Além disso, observou-se a localização de cada estação, realizando o

descarte daquelas cujas áreas de contribuição faziam parte predominantemente do território dos estados circundantes ao Espírito Santo.

Após a etapa de pré-processamento, mantiveram-se, então, 25 estações fluviométricas para a execução deste trabalho. Em virtude da falta de dados consistidos para todas as estações fluviométricas, para o ano hidrológico de estudo, em algumas estações se fez necessária a utilização de dados brutos (Tabela 1).

Tabela 1 – Identificação das estações fluviométricas utilizadas na realização deste trabalho.

ID	Consistência	Código	Nome	Latitude	Longitude
1	NC	55746000	Pedro Canário (Estância Pico)	-18,2647	-40,0336
2	NC	55990200	São Jorge da Barra Seca	-18,8494	-40,3381
3	NC	56991500	Laranja da Terra	-19,9011	-41,0581
4	NC	56992000	Baixo Guandú	-19,5236	-41,0142
5	NC	56993551	Jusante Córrego da Piaba	-19,5586	-40,7325
6	NC	56995500	Ponte do Pancas	-19,4228	-40,6864
7	NC	56998400	Barra de São Gabriel	-19,0400	-40,5300
8	NC	57040008	Valsugana Velha - Montante	-19,9525	-40,5522
9	NC	57130000	Santa Leopoldina	-20,1003	-40,5278
10	NC	57170000	Córrego do Galo	-20,3164	-40,6517
11	NC	57230000	Fazenda Jucuruaba	-20,4150	-40,4853
12	NC	57250000	Matilde	-20,5428	-40,8281
13	C	57350000	Usina Fortaleza	-20,3714	-41,4069
14	C	57360000	Iúna	-20,3522	-41,5328
15	C	57370000	Terra Corrida - Montante	-20,4303	-41,5028
16	C	57400000	Itaici	-20,5283	-41,5114
17	C	57420000	Ibitirama	-20,5406	-41,6656
18	C	57450000	Rive	-20,7469	-41,4661
19	C	57460000	Pacotuba	-20,7575	-41,2653
20	C	57476500	Fazenda Lajinha	-20,4269	-41,2761
21	C	57490000	Castelo	-20,6061	-41,1997
22	C	57550000	Usina São Miguel	-20,7025	-41,1736
23	C	57555000	Coutinho	-20,7583	-41,1736
24	C	57580000	Usina Paineiras	-20,9550	-40,9500
25	C	57740000	Guaçuí	-20,7736	-41,6817

Fonte: a autora. Base de dados obtida junto à ANA (2010).

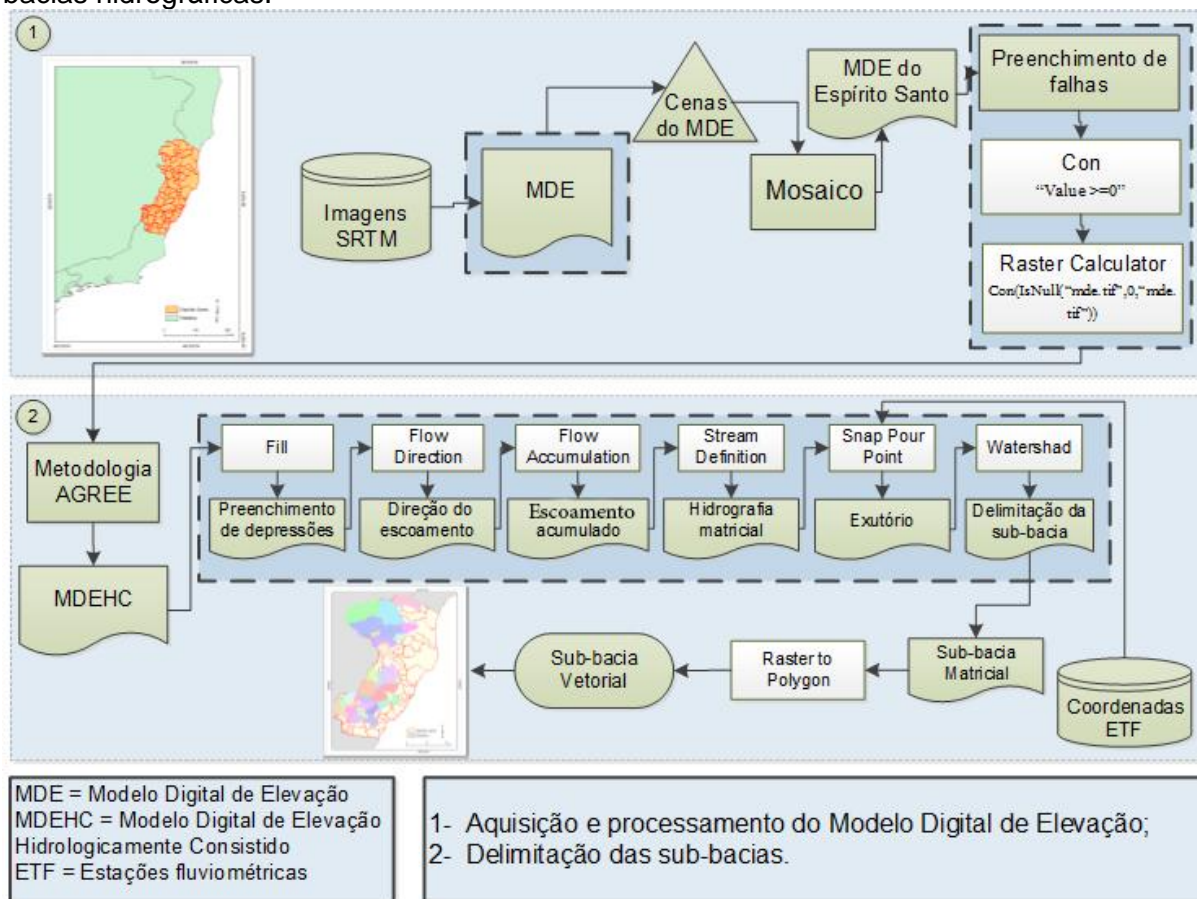
NC: dados não consistidos; C: dados consistidos.

Para cada uma das 25 estações fluviométricas, foram obtidas a vazão média ($Q_{\text{méd}}$) e a vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7), para o ano hidrológico de 2007/2008. A partir disso, obtiveram-se as respectivas vazões específicas, a partir da divisão matemática das vazões com as áreas de drenagem, em km^2 , das sub-bacias hidrográficas delimitadas. O banco de dados foi elaborado em planilhas eletrônicas contendo as informações das estações fluviométricas utilizadas para a execução do trabalho.

4.4. DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS

As etapas para a delimitação das sub-bacias referentes a cada estação fluviométrica estão apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma de obtenção dos dados topográficos digitais e delimitação das sub-bacias hidrográficas.



Fonte: a autora.

Conforme observado no passo 1 do fluxograma, obteve-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), proveniente do *Space Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, adquirido gratuitamente junto ao *United States Geological Survey* (USGS).

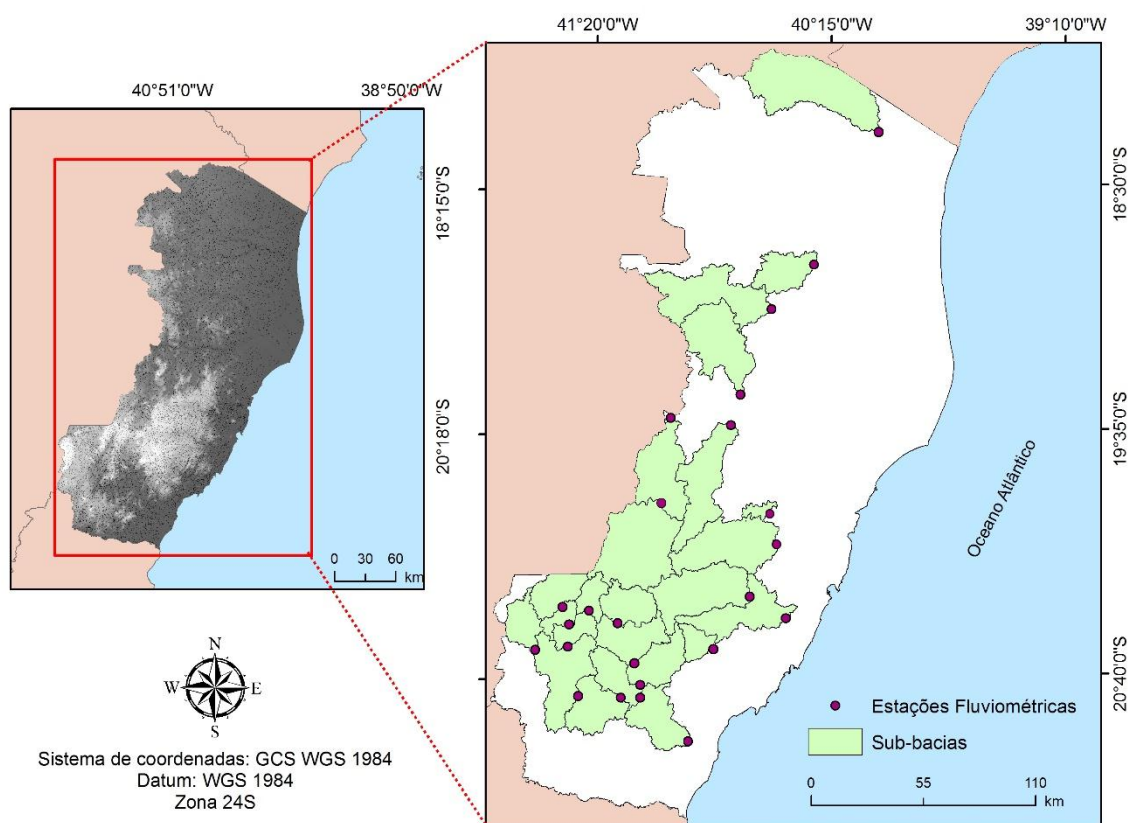
Inicialmente, realizou-se o mosaico das cenas SRTM, de modo a uni-las, formando uma única imagem, contemplando toda a área de interesse. Em seguida, fez-se necessário o preenchimento de falhas (*sinks*) do MDE, a fim de que a aplicação dos procedimentos de delimitação não fosse comprometida. A presença de falhas nos dados SRTM é, de certa forma, comum, caracterizadas por pixels

vazios nas imagens. De acordo com Luedeling, Siebert e Buerkert (2007), os vazios no modelo SRTM são decorrentes de duas possibilidades: devido à presença de corpos aquáticos, uma vez que estes produzem espalhamento de sinal do radar, impossibilitando a detecção de reflexões significativas; ou grandes inclinações de terreno, que geram sombras no radar.

Objetivando-se obter uma melhor representação do terreno, com certa consistência hidrológica, o MDE foi recondicionado de modo automatizado, por meio do algoritmo AGREE (HELLWEGGER, 1997), disponível no pacote *Arc Hydro Tools*, utilizando o programa ArcGIS 10.3.1. Esse algoritmo ajusta a elevação da superfície do MDE de modo a coincidir com uma cobertura vetorial: rasteriza a hidrografia vetORIZADA e identifica as células do MDE correspondentes às linhas vetoriais da hidrografia; rebaixa as cotas de altitude ao longo da hidrografia rasterizada; cria um *buffer* no entorno dessa hidrografia; atribui altitude às células internas do *buffer*, garantindo que toda a água chegue à calha do rio, obedecendo a drenagem mapeada.

Adaptando-se à metodologia proposta por Medeiros, Ferreira e Ferreira (2009), de posse do MDEHC, aplicou-se as ferramentas: *fill*, *flow direction*, *flow accumulation*, *stream definition*, *snap pour point* e *watershed*, ilustrado no passo 2 do fluxograma (Figura 5). A partir disso, delimitaram-se 25 sub-bacias rasterizadas, as quais foram convertidas para vetores aplicando suavização em seus contornos (Figura 6).

Figura 6 – Distribuição espacial das 25 sub-bacias delimitadas no Espírito Santo.

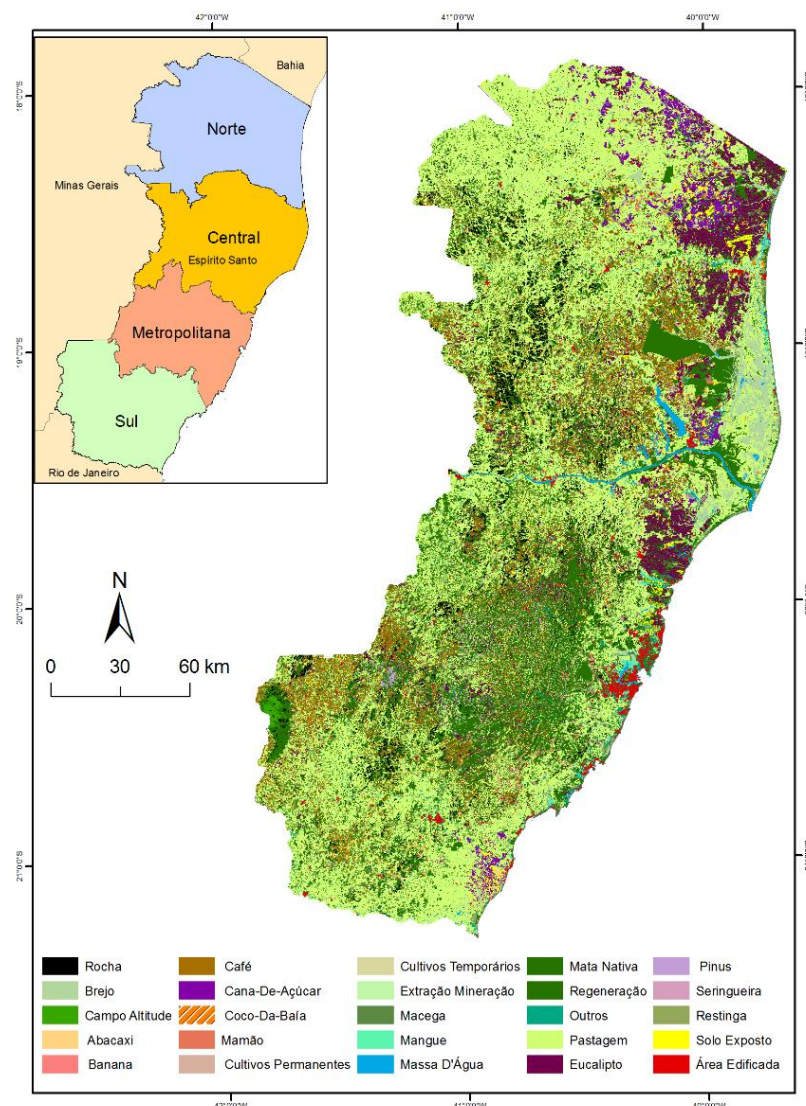


Fonte: a autora. Base de dados obtida junto ao IBGE (2010), à ANA (2010) e ao USGS (2017).

4.5. COBERTURA FLORESTAL

Para a obtenção dos dados da cobertura florestal existente na área de estudo, utilizaram-se as informações de uso da terra provenientes do levantamento aerofotogramétrico realizado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, entre 2007 e 2008, cuja classificação apresenta 25 classes de uso e ocupação (Figura 7). O ortofotomosaico gerado apresenta resolução espacial de 1 metro e representa o mais recente levantamento completo disponível da vegetação do estado do Espírito Santo.

Figura 7 – Mapa de uso da terra para o estado do Espírito Santo, em 2007/2008.



Fonte: Andrade (2017). Base de dados obtida junto ao Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do estado do Espírito Santo – GEOBASES (2007), ao IEMA (2007/2008) e ao IBGE (2010).

Dentre as 25 classes originais existentes no levantamento, com os principais tipos de uso da terra, selecionou-se as classes de interesse, referentes às áreas de cobertura florestal, unindo-se as classes “Mata Nativa” e “Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração”. Os dados, em formato vetorial, foram recortados, utilizando-se as sub-bacias hidrográficas delimitadas como máscara de corte, possibilitando o cálculo das áreas de cobertura florestal. As operações para seleção, extração e cálculos das áreas de interesse foram realizadas no ArcGIS 10.3.1.

Na seleção das classes de interesse, optou-se pela não utilização das classes referentes aos plantios silviculturais, compostos por eucalipto, seringueira e pinus,

cuja estrutura e ecologia do povoamento difere substancialmente da composição das florestas naturais. Além disso, conforme evidenciado por Andrade (2017), as áreas dos plantios de eucalipto (o mais expressivo dentre as três culturas supracitadas), em 2007/2008, correspondiam a apenas 5,8% da área do estado. Ainda, ressalta-se que para muitos locais de maior área silvicultural não foi encontrada estação fluviométrica de acesso público, inviabilizando a obtenção de dados de vazão e, conseqüentemente, o estabelecimento de quaisquer relações entre as variáveis percentual de cobertura florestal e vazão.

4.6. ANÁLISE DOS DADOS

As sub-bacias hidrográficas delimitadas foram analisadas associando-se o percentual de cobertura florestal e as vazões específicas média ($q_{\text{méd}}$) e mínima com sete dias de duração (q_7), bem como a precipitação (P_a) e as referidas vazões, por meio de regressão linear simples. Admitiram-se as vazões como variáveis dependentes e utilizou-se o teste F a 5% de probabilidade. A correlação conjunta foi realizada por meio da regressão linear múltipla, aplicando-se o teste F a 5% para verificação da significância de cada variável nas equações. Tais estatísticas foram aplicadas por meio do software Microsoft Excel 2013.

Para verificar se o percentual de floresta exerceu alguma influência no comportamento hidrológico das sub-bacias em estudo, sem a influência da precipitação, aplicou-se o coeficiente de correlação parcial, permitindo, assim, a fixação do efeito da precipitação. A correlação parcial mede a correlação entre duas variáveis, mantendo-se constante o efeito que outras variáveis possam exercer sobre elas (COSTA NETO, 2002). O teste F a 5% de probabilidade foi aplicado para verificar a significância dos coeficientes de correlação parcial obtidos. A análise de correlação parcial foi realizada a partir da execução de *script* no *software* R 3.4.2 (Apêndice B).

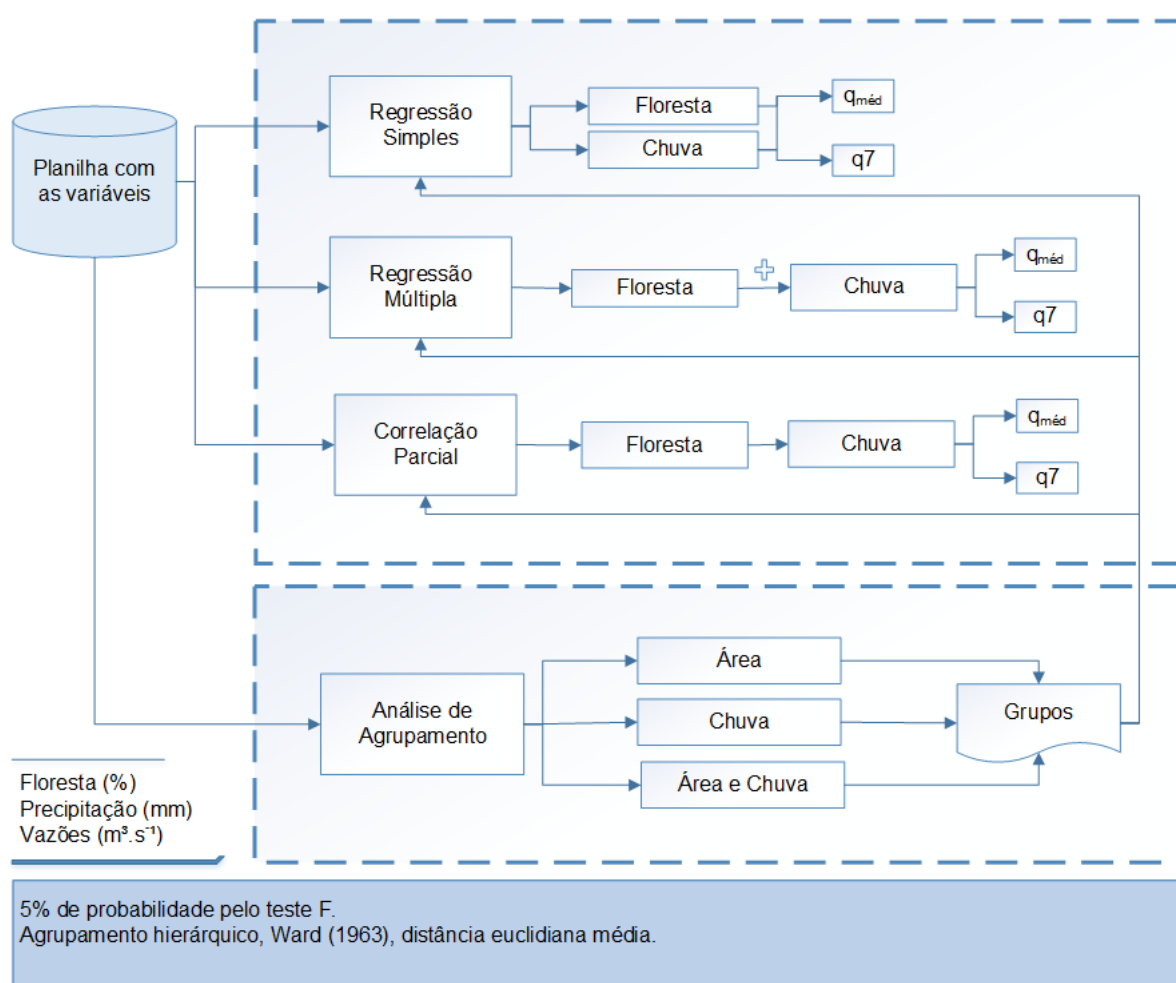
4.6.1. AGRUPAMENTO DAS SUB-BACIAS

As análises descritas anteriormente foram realizadas para todas as 25 sub-bacias do estado, em conjunto. Como tais sub-bacias possuem diferentes áreas e

estão submetidas a diferentes regimes pluviométricos, o que poderia influenciar nas respostas hidrológicas das análises, essas mesmas análises estatísticas foram também realizadas de forma separada, agrupando-se sub-bacias. Foram, então, realizados três agrupamentos: por regiões homogêneas de precipitação pluviométrica; por áreas, em km², similares; e pela união das características de precipitação e área. O processo de agrupamento das sub-bacias foi realizado por meio do software R 3.4.2, a partir da execução de *script* (Apêndice C).

Realizou-se a análise de agrupamento hierárquico (AGH), analisando-se a variância entre os indivíduos (sub-bacias), agrupando os que resultaram em menor variância no grupo formado, utilizando o método de Ward (WARD JÚNIOR, 1963). Na Figura 8, é apresentado um fluxograma que sintetiza os procedimentos estatísticos adotados neste trabalho.

Figura 8 – Fluxograma das etapas seguidas para a análise estatística do conjunto de dados.



Fonte: a autora.

O agrupamento hierárquico forma os agrupamentos por meio de uma sequência de junções sucessivas de grupos. Além disso, entre os métodos disponíveis de agrupamento, a escolha de um deles é, de certo modo, subjetiva (KELLER FILHO; ASSAD; LIMA, 2005). Assim, nenhuma das técnicas para o agrupamento representa um critério estritamente objetivo ou uma solução consensual (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Como medida de similaridade, usou-se a distância euclidiana média. Esta é uma medida bastante utilizada e de mais fácil acesso, encontrando-se disponível na maior parte dos *softwares* de análise de agrupamentos (TOTTI; VENCOVSKY; BATISTA, 2001).

Metodologia similar à proposta neste trabalho, no que tange ao método de agrupamento adotado, pode ser verificada em Fachine e Galvício (2008); Gouvêa e Wendland (2011); Keller Filho, Assad e Lima (2005); Totti, Vencovsky e Batista (2001).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, estão apresentados e discutidos os resultados das relações entre as vazões específicas média ($q_{\text{méd}}$) e mínima com sete dias de duração (q_7) com o percentual de cobertura florestal e a precipitação total anual (P_a) para as sub-bacias objeto de estudo.

5.1. RELAÇÃO ENTRE VAZÕES, COBERTURA FLORESTAL E PRECIPITAÇÃO PARA O ESPÍRITO SANTO

Os dados correspondentes a todas as estações utilizadas neste estudo, caracterizados por área, vazão, precipitação e cobertura florestal, estão apresentados na Tabela 2. Para as 25 sub-bacias delimitadas, em conjunto, realizaram-se as análises de regressão linear simples, regressão múltipla e correlação parcial entre as variáveis vazão (variável dependente Y), cobertura florestal (variável independente X_1) e precipitação pluviométrica (variável independente X_2), a fim de verificar o efeito isolado, combinado e parcial, respectivamente, da floresta e da chuva sobre as vazões.

Tabela 2 – Dados de vazão, precipitação e cobertura florestal obtidos para as sub-bacias do Espírito Santo.

Estação	Bacia	Área (km ²)	q _{méd} (L s ⁻¹ km ⁻²)	q ₇ (L s ⁻¹ km ⁻²)	P _a (mm)	Floresta (%)
55746000	Pedro Canário	1.665,9	3,1	0,3	690,8	4,7
55990200	São Jorge da Barra Seca	451,7	4,6	1,0	820,3	15,7
56991500	Laranja da Terra	1.331,7	10,1	4,1	1.023,2	23,4
56992000	Baixo Guandú	2.143,2	4,7	1,1	908,0	25,8
56993551	Córrego da Piaba	879,4	3,7	0,2	818,8	28,5
56995500	Ponte do Pancas	919,3	3,6	0,2	814,3	21,7
56998400	São Gabriel da Palha	1.029,4	8,2	1,2	848,8	15,7
57040008	Valsugana Velha - Montante	90,3	13,8	0,5	1.010,1	58,0
57130000	Santa Leopoldina	1.011,6	7,2	3,0	1.042,2	48,5
57170000	Córrego do Galo	979,0	10,9	5,0	1.218,8	40,2
57230000	Fazenda Jucuruaba	1.688,6	11,5	5,3	1.241,8	45,7
57250000	Matilde	207,3	23,1	9,4	1.480,9	58,2
57350000	Usina Fortaleza	223,0	12,1	3,1	1.282,6	24,0
57360000	Iúna	433,5	14,4	5,8	1.257,8	11,0
57370000	Terra Corrida - Montante	594,0	13,4	5,3	1.281,2	12,0
57400000	Itaici	1.047,4	13,1	4,1	1.303,4	17,1
57420000	Ibitirama	341,6	28,1	5,2	1.354,2	30,1
57450000	Rive	2.221,0	14,7	4,9	1.355,0	18,5
57460000	Pacotuba	2.759,6	13,6	3,7	1.358,5	18,2
57476500	Fazenda Lajinha	436,2	12,4	2,6	1.305,7	33,9
57490000	Castelo	976,1	14,0	2,3	1.364,7	30,3
57550000	Usina São Miguel	1.457,5	15,1	3,3	1.403,1	31,9
57555000	Coutinho	4.604,4	14,9	3,7	1.377,8	23,1
57580000	Usina Paineiras	5.169,3	14,2	3,9	1.377,8	22,6
57740000	Guaçuí	411,9	25,0	8,2	1.452,5	22,1
Média		1.322,9	12,4	3,5	1.175,7	27,2
Desvio padrão		1.272,6	6,3	2,4	239,1	13,8

Fonte: a autora. Base de dados obtida junto à ANA (2010), ANA (2007/2008), Xavier King e Scalón (2016) e ao IEMA (2007/2008).

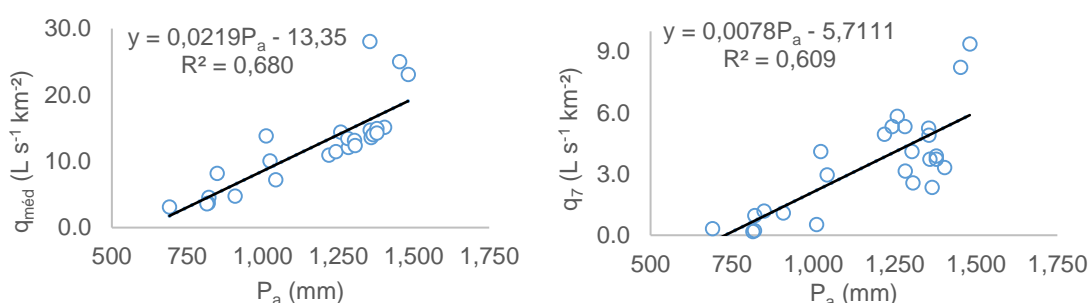
A partir da análise apresentada na Tabela 4, nota-se que houve relação significativa entre a precipitação pluviométrica (P_a) e as vazões média (q_{méd}) e mínima com sete dias de duração (q₇), e que esta relação foi expressiva (*valor-p* < 0,01). Observa-se, conforme elucidado nos gráficos de tendência (Figura 9), tratar-se de uma associação positiva, de modo que os aumentos nas vazões q_{méd} e q₇ foram influenciados pelos aumentos das chuvas ao longo do ano hidrológico 2007/2008.

Tabela 3 – Relações das vazões com o percentual de cobertura florestal e com a precipitação pluviométrica nas 25 sub-bacias estudadas.

Variável	$q_{\text{méd}}$		q_7	
	R^2	Valor- p^*	R^2	Valor- p^*
P_a	0,680	3,98E-07	0,609	4,18E-06
Floresta	0,062	0,228	0,039	0,346

Fonte: a autora; *Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F (regressão linear simples); P_a – precipitação total anual (mm); $q_{\text{méd}}$ – vazão específica média anual ($\text{L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$); q_7 – vazão específica mínima com sete dias de duração ($\text{L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$).

Figura 9 – Gráficos das equações de regressão significativas entre a precipitação total anual (P_a) e as vazões $q_{\text{méd}}$ e q_7 para as 25 sub-bacias em estudo.



Fonte: a autora.

Da mesma forma, Latuf (2007) encontrou associações significativas positivas entre a precipitação anual e as vazões média e mínima com sete dias de duração em duas bacias hidrográficas situadas nos estados de Minas Gerais, Distrito Federal e Goiás. Ao analisar a relação entre a precipitação total anual e as vazões $q_{\text{méd}}$ e q_7 na bacia do Rio Itapemirim, no Espírito Santo, Mendes (2016) também obteve fortes associações positivas entre essas variáveis.

Santana, Souza e Oliveira Junior (2013), no estudo de séries temporais de vazão e precipitação na bacia do rio Paraguai, observaram que o aumento das vazões está relacionado ao aumento das precipitações, mesmo para os valores não significativos. Neste caso, explica-se pela quantidade maior de afluentes existentes, que aumentaram o volume de descarga fluvial, bem como pela dinâmica do rio, que transborda, abastecendo baías, lagoas e canais secundários. Além disso, os autores verificaram que os períodos anuais de maiores e de menores vazões coincidiram com os períodos de maiores e menores precipitações, respectivamente, com um retardo de até dois meses para aumento das vazões e prolongamento de até um mês para a sua diminuição, evidenciando-se o comportamento da vazão em função da precipitação.

As relações conjuntas entre a cobertura florestal e a precipitação total anual com as vazões podem ser observadas na Tabela 4 (regressão linear múltipla e correlação parcial). Nessa análise, a precipitação, mais uma vez, atuou de forma significativa para ambas as vazões estudadas. De acordo com os coeficientes da correlação parcial, nota-se a tendência de aumento das vazões $q_{\text{méd}}$ e q_7 em função do aumento da precipitação.

Tabela 4 – Relação das vazões com o percentual de floresta e a precipitação total anual (regressão linear múltipla e correlação parcial).

Variável	$q_{\text{méd}}$				q_7			
	R^2	Valor- p^*	r_p	Valor- p^*	R^2	Valor- p^*	r_p	Valor- p^*
P_a	0,686	2,89E-06	0,816	1,19E-06	0,610	3,15E-05	0,771	1,03E-05
Floresta			0,139	0,516			0,055	0,800

Fonte: a autora; * Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F; r_p – coeficientes de correlação parcial; P_a – precipitação total anual (mm); $q_{\text{méd}}$ – vazão específica média anual ($L s^{-1} km^{-2}$); q_7 – vazão específica mínima com sete dias de duração ($L s^{-1} km^{-2}$).

A precipitação atua como principal agente de entrada da água no ciclo hidrológico, contribuindo para com as demais etapas do ciclo e abastecimento dos corpos hídricos. Isto é elucidado por Groppo et al. (2005), que constataram, ao estudarem o funcionamento dos corpos d'água em algumas bacias no estado de São Paulo sob diferentes graus de intervenção antrópica, que as vazões acompanham a tendência da precipitação, sobretudo nas bacias menos impactadas. Macêdo et al. (2013), em bacia na Amazônia, observaram que as vazões associaram-se às precipitações mesmo diante do comportamento flutuante desta, tal que ambas atingiam altos picos em período de cheia e baixos volumes em período de estiagem.

Diante desses resultados, fica evidente que a precipitação total anual exerceu forte influência positiva nas vazões $q_{\text{méd}}$ e q_7 anuais no ano hidrológico de 2007/2008, no estado do Espírito Santo, considerando-se as relações matemáticas estabelecidas para as 25 sub-bacias em conjunto. A ausência de relação entre a cobertura florestal e as vazões nessa primeira análise não implica diretamente na não existência de uma associação significativa. Ressalta-se, apenas, que tal relação pode não ter sido identificada nesta etapa, havendo a possibilidade, ainda, de que uma provável relação tenha sido mascarada pela heterogeneidade das sub-bacias que compuseram os dados analisados, sobretudo, quanto à precipitação e áreas de

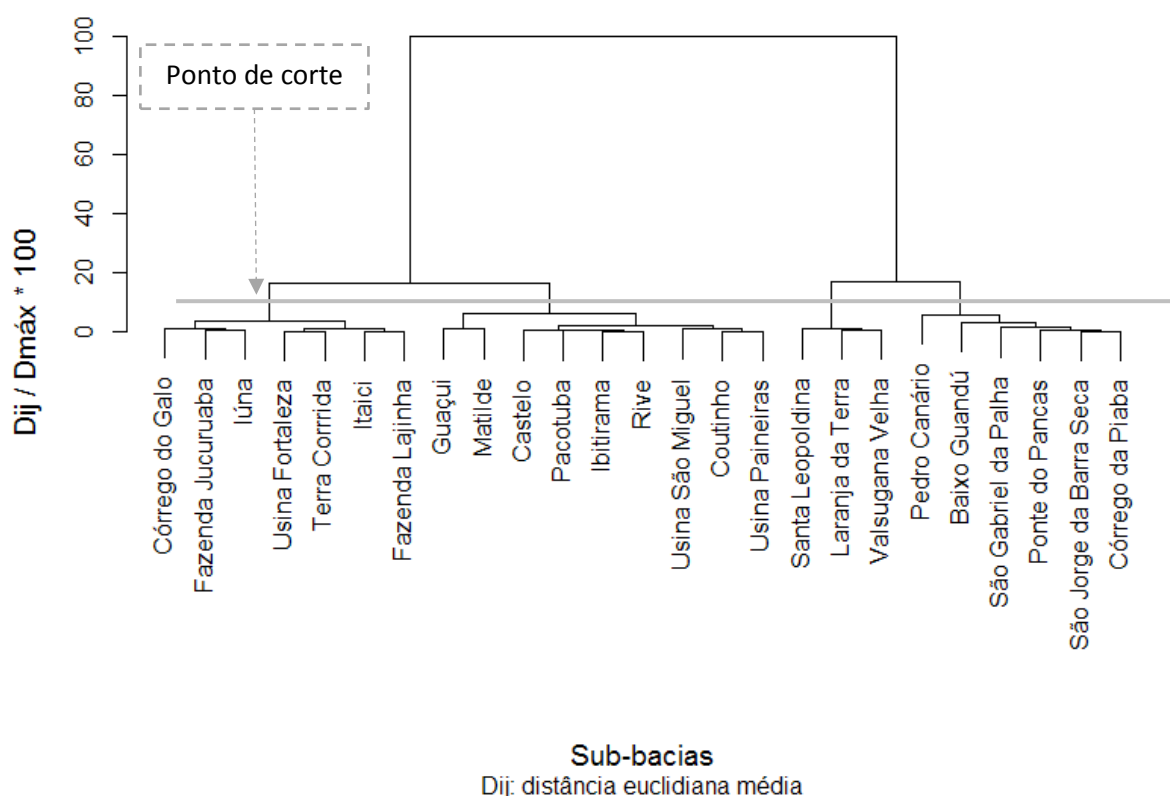
drenagem. Assim, foi realizada a formação de grupos para as análises mais homogêneas entre si de forma a favorecer a obtenção de respostas ainda não detectadas.

5.2. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO (AGH)

5.2.1. AGH por características de precipitação pluviométrica

A análise de agrupamento realizada por características similares de precipitação incidente nas sub-bacias originou quatro grupos no ponto de corte adotado (Figura 10). Um dos grupos formados, constituído pelas sub-bacias Santa Leopoldina, Laranja da Terra e Valsugana Velha foi descartado desta análise por ser composto apenas por três sub-bacias, número esse insuficiente para realizar as análises estatísticas propostas neste estudo. Desse modo, mantiveram-se os outros três grupos, denominados Grupo P1, Grupo P2 e Grupo P3.

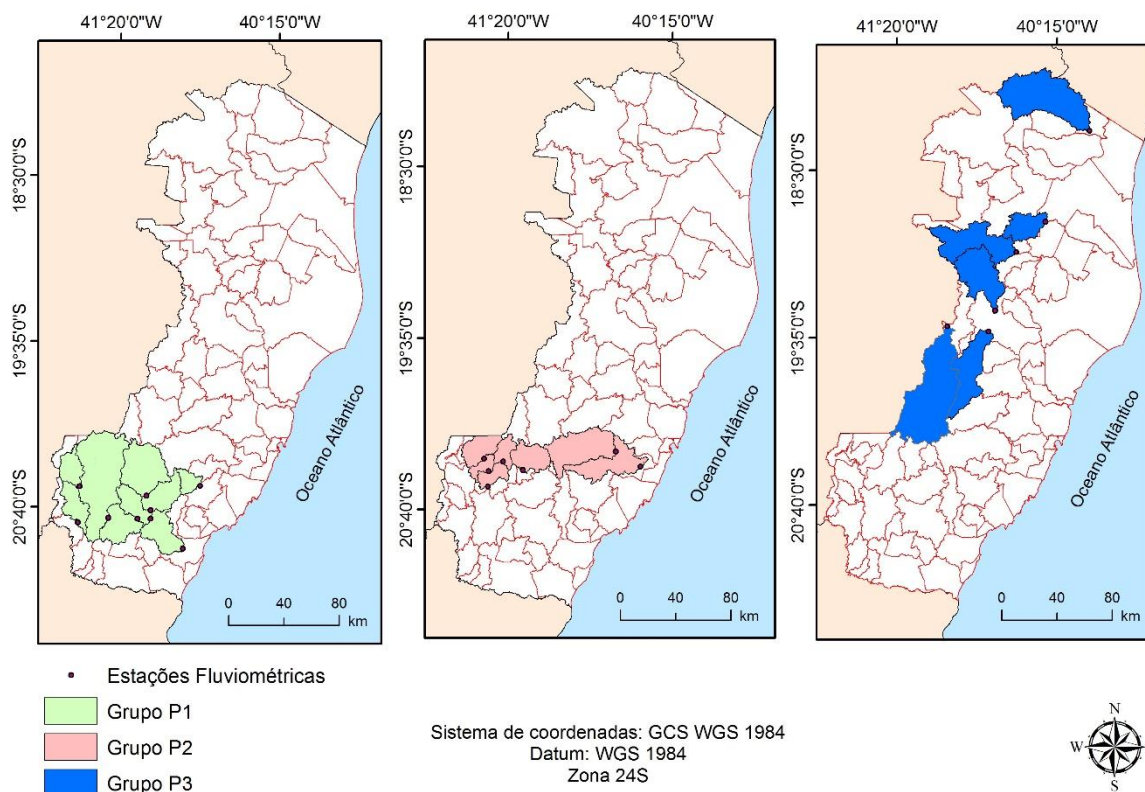
Figura 10 – Dendrograma obtido com o agrupamento das sub-bacias, em função da precipitação pluviométrica, usando o método de Ward.



Fonte: a autora.

A fim de melhorar a visualização do agrupamento realizado, as sub-bacias enquadradas em cada um dos grupos formados estão representadas no mapa da Figura 11.

Figura 11 – Disposição dos grupos de sub-bacias formados no AGH em função da precipitação pluviométrica.



Fonte: a autora. Base de dados obtida junto ao IBGE (2010) e à ANA (2010).

As condições de precipitação de cada grupo, bem como as sub-bacias constituintes estão apresentadas na Tabela 5. Conforme exposto, o Grupo P1 é formado pelas sub-bacias que possuíram maior precipitação; o Grupo P2, precipitação intermediária; e o Grupo P3, formado pelas sub-bacias com as menores precipitações do período analisado.

Tabela 5 – Caracterização dos grupos formados em função da precipitação pluviométrica.

Grupos	Sub-bacias	Precipitação (mm)	Média (mm)	DP (mm)
Grupo P1	Guaçuí	1.452,5	1.391,6	45,8
	Matilde	1.480,9		
	Castelo	1.364,7		
	Pacotuba	1.358,5		
	Ibitirama	1.354,2		
	Rive	1.355,0		
	Usina São Miguel	1.403,1		
	Coutinho	1.377,8		
	Usina Paineiras	1.377,8		
Grupo P2	Córrego do Galo	1.218,8	1.270,2	32,2
	Fazenda Jucuruaba	1.241,8		
	Iúna	1.257,8		
	Usina Fortaleza	1.282,6		
	Terra Corrida	1.281,2		
	Itaici	1.303,4		
	Fazenda Lajinha	1.305,7		
Grupo P3	Pedro Canário	690,8	816,9	71,0
	Baixo Guandú	908,0		
	Barra de São Gabriel	848,8		
	Ponte do Pancas	814,3		
	São Jorge da Barra Seca	820,3		
	Córrego da Piaba	818,8		

Fonte: a autora; DP: desvio padrão.

Após a identificação dos grupos formados por esta análise de agrupamento, realizaram-se as análises de regressão linear simples, regressão múltipla e correlação parcial das vazões $q_{\text{méd}}$ e q_7 com a cobertura florestal e a precipitação total anual (P_a), para cada um dos grupos formados. Os resultados da regressão simples estão apresentados na Tabela 6.

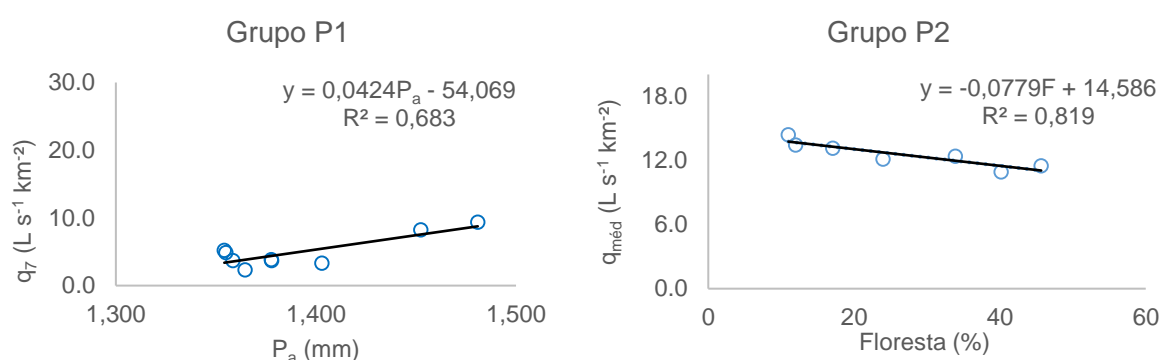
Tabela 6 – Relação das vazões com o percentual de floresta e com a precipitação total anual, para os grupos formados em função da precipitação.

Grupos	Variável	$q_{\text{méd}}$		q_7	
		R^2	Valor- p^*	R^2	Valor- p^*
Grupo P1	P_a	0,208	0,218	0,683	0,006
	Floresta	0,160	0,285	0,301	0,126
Grupo P2	P_a	0,222	0,285	0,412	0,120
	Floresta	0,819	0,005	0,030	0,710
Grupo P3	P_a	0,232	0,333	0,367	0,202
	Floresta	1,59E-04	0,981	0,000	0,971

Fonte: a autora; *Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F (regressão linear simples); P_a – precipitação total anual (mm); $q_{\text{méd}}$ – vazão específica média anual ($L\ s^{-1}\ km^{-2}$); q_7 – vazão específica mínima com sete dias de duração ($L\ s^{-1}\ km^{-2}$).

Na regressão simples, os valores dos coeficientes de determinação (R^2), de modo geral, foram baixos (entre $1,59E-04$ e $0,41$), tanto para a $q_{\text{méd}}$ como para a q_7 . Exceção a isso ocorreu no Grupo P1, para a q_7 em função da precipitação anual (P_a) ($R^2 = 0,68$), e no Grupo P2, para a $q_{\text{méd}}$ em função do percentual de cobertura florestal ($R^2 = 0,82$), cujas relações foram significativas. Os gráficos de tendência para essas associações significativas estão ilustrados na Figura 12.

Figura 12 – Gráficos das relações significativas da regressão simples para os grupos formados em função da precipitação.



Fonte: a autora.

Na Tabela 7 encontram-se os resultados das análises de regressão múltipla e correlação parcial entre as vazões e as variáveis precipitação anual (P_a) e percentual de cobertura florestal.

Tabela 7 – Relação das vazões com o percentual de floresta e precipitação total anual, para os grupos formados por regiões homogêneas de precipitação (regressão linear múltipla e correlação parcial).

Grupos	Variável	$q_{\text{méd}}$				q_7			
		R^2	Valor- p^*	r_p	Valor- p^*	R^2	Valor- p^*	r_p	Valor- p^*
Grupo P1	P_a	0,223	0,469	0,274	0,512	0,684	0,032	0,740	0,036
	Floresta			0,140	0,740			-0,028	0,949
Grupo P2	P_a	0,820	0,032	0,097	0,858	0,716	5,047	-0,841	0,036
	Floresta			-0,875	0,022			-0,719	0,107
Grupo P3	P_a	0,568	0,284	0,754	0,141	0,907	0,028	0,953	0,012
	Floresta			-0,662	0,224			-0,924	0,025

Fonte: a autora; * Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F; r_p – coeficiente de correlação parcial; P_a – precipitação total anual (mm); $q_{\text{méd}}$ – vazão específica média anual ($L s^{-1} km^{-2}$); q_7 – vazão específica mínima com sete dias de duração ($L s^{-1} km^{-2}$).

Com esses resultados, observa-se que as vazões mínimas com sete dias de duração (q_7) foram predominantemente influenciadas pela precipitação total anual incidente (P_a). O Grupo P1, cujas sub-bacias obtiveram a maior média de precipitação anual, apresentou relações significativas tanto na regressão simples quanto na regressão múltipla, demonstrando que, especialmente nessas sub-bacias, a chuva tem papel preponderante na variação das vazões mínimas.

No Grupo P2, com relação à chuva, embora a equação de regressão múltipla não tenha sido significativa para a q_7 (Valor- $p = 5,047$), é possível verificar, a partir da correlação parcial, a existência de significância entre as variáveis q_7 e P_a (Valor- $p = 0,036$), fixando o efeito da floresta, com tendência negativa ($r_p = -0,841$). Tal resultado contraria o que se entende dos processos físicos de entrada e saída de água em uma bacia hidrográfica, uma vez que a ocorrência de maior precipitação não poderia implicar na diminuição da quantidade de água disponível. Pode-se pressupor, então, a existência da influência de outros fatores não analisados neste trabalho, relacionados ao ambiente das sub-bacias, tais como aspectos geológicos ou pedológicos, os quais poderiam condicionar a capacidade de infiltração da área e recarga dos aquíferos.

Ainda nesse aspecto, o Grupo P2 é formado por sub-bacias localizadas desde a região costeira do estado à região do Caparaó, divergindo, portanto, quanto à vegetação, precipitação e, certamente, temperatura e classes de solo, fatores que poderiam interferir nas taxas de evapotranspiração e de infiltração desses locais. Mendes (2016) observou que as vazões de algumas sub-bacias do rio Itapemirim analisadas não puderam ser associadas à precipitação. A autora atribui a isso as possibilidades de fatores geopedológicos, declividade ou barragens, que podem comprometer o armazenamento de água no subsolo.

Nesse sentido, ressalta-se que, em alguns casos, os fatores ambientais podem não explicar diretamente as alterações no regime de vazões, podendo haver aspectos antropogênicos envolvidos, tal como demonstra o trabalho de Santos, Griebeler e Oliveira (2010). No estudo, constatou-se uma tendência à redução do escoamento – que tem reflexos em alterações nas vazões. Entretanto, os autores destacam que o aumento considerável do volume de água captado no decorrer dos anos pode ter comprometido a relação entre as variáveis estudadas e os efeitos esperados da resposta do escoamento e das vazões.

Percebe-se, então, que essa região, composta pelas sub-bacias Córrego do Galo, Fazenda Jucuruaba, Iúna, Usina Fortaleza, Terra Corrida, Itaici e Fazenda Lajinha, necessita de estudos específicos e que envolvam maior quantidade de variáveis, a fim de que se possa compreender o funcionamento do ciclo hidrológico nessas sub-bacias e os fatores que influenciam majoritariamente na disponibilidade hídrica dos cursos d'água correspondentes.

No Grupo P3, cuja precipitação média é a menor dos três grupos, nota-se que as disponibilidades mínimas nos períodos de estiagem (q_7) foram fortemente influenciadas tanto pela precipitação quanto pela cobertura florestal existente, conforme observado na regressão múltipla e na correlação parcial, com coeficientes estatísticos maiores que 0,90 (Tabela 7). Esse resultado sugere que nessa região, formada pelas sub-bacias Pedro Canário, Baixo Guandú, Barra de São Gabriel, Ponte do Pancas, São Jorge e Córrego da Piaba, as vazões mínimas (q_7) dos cursos hídricos são mais sensíveis às baixas precipitações e grandes estiagens, bem como à presença de cobertura florestal nas sub-bacias.

Com relação à floresta, a partir das análises é possível identificar a influência significativa da cobertura florestal na $q_{méd}$ do Grupo P2 na regressão linear simples (Valor-p = 0,005) e na regressão múltipla (Valor-p = 0,022). Quanto a q_7 , observou-se significância no Grupo P3 (Valor-p = 0,025), ao se analisar a correlação parcial entre floresta e vazão, fixando o efeito da precipitação. Observa-se, entretanto, que a significância apresentou tendência negativa para os dois casos, ou seja, vazões menores ocorreram em bacias com maior percentual de floresta e vice-versa.

Numa revisão sobre o impacto da mudança da cobertura vegetal sobre o escoamento, Tucci e Clarke (1997) abordam o papel da floresta no balanço de energia e no fluxo de volumes de água nas bacias hidrográficas. Da parcela de água que atinge o solo, a parte não escoada tende a infiltrar. Nestas condições, normalmente a infiltração em solos com florestas é alta, produzindo pouco escoamento. Explica-se, também, que o aumento na área de superfície de folhagem relaciona-se intimamente com o aumento da interceptação da precipitação e com o aumento da taxa de evapotranspiração. Essa evapotranspiração é responsável por devolver para a atmosfera grandes volumes de água, a depender do tipo da cobertura florestal, estágio ou densidade da floresta, influenciando também na perda de umidade do solo a partir da retirada de água pelas raízes das plantas.

Sari, Paiva e Paiva (2016) observaram que, das chuvas incidentes em parcelas da Mata Atlântica, cerca de 21% não atingiram o solo devido aos processos de interceptação pelo dossel florestal e escoamento pelo tronco das árvores. Para Floresta Ombrófila Mista, 10,4% de interceptação foi encontrado por Sá, Chaffe e Quiller (2016). Sousa et al. (2011), em floresta plantada de araucária, identificaram que, em média, 12,7% da precipitação total anual foi retida pelas árvores, observando-se que nos meses menos chuvosos, as interceptações ocorreram em maior magnitude, atingindo até 25,9% da precipitação mensal. Por fim, Tonello et al. (2014) constataram, em Floresta Estacional Semidecidual, interceptação de 22,8% contra 15% em plantios de pinus e 13,8% em plantios de eucalipto, havendo diferenças significativas entre a floresta nativa e as demais no processo interação com as chuvas.

De acordo com Bruijnzeel (1990), a evapotranspiração anual em florestas tropicais de áreas com raros períodos de déficit hídrico, especificamente no Brasil, pode atingir 70% da precipitação incidente. Fujieda et al. (1997) identificaram para bacias na Mata Atlântica uma média anual de evapotranspiração em torno de 30% da precipitação. Estudos mais recentes abordam diferentes taxas de evapotranspiração (ANDRADE et al., 2017; UDA; CORSEUIL; KOBAYAMA, 2014), que fornecem subsídio para uma melhor compreensão das saídas de água para a atmosfera em bacias sob cobertura de floresta e do impacto disso nos volumes de água que deixam de compor os cursos d'água correspondentes, uma vez que “quanto maior a capacidade evapotranspirativa numa bacia, menor será a vazão anual” (BACELLAR, 2005, p. 14).

Os diferentes estratos arbóreos da estrutura vertical da floresta com suas respectivas profundidades de raízes podem, ainda, agir sobre a permeabilidade dos solos, favorecendo o processo de infiltração de água e o seu movimento subsuperficial e subterrâneo e, conseqüentemente, favorecendo a recarga de aquíferos. Entretanto, ao estudarem a influência das características do solo na variação do nível de água em aquífero, Gouvêa e Wendland (2011) verificaram que, embora a porosidade do solo seja fator de grande importância, a evapotranspiração apresentou relação mais forte com a variação do nível de água subterrânea.

É possível também que atividades de desmatamento proporcionem aumento das cavidades do solo, pela redução ou eliminação dos predadores naturais da fauna

construtora de macroporos. Isto é evidenciado por Deus (1991), que mostra a importância de formigas saúvas e seu sistema de cavidades interconectadas no solo, proliferadas em áreas de floresta substituídas por pastagem, para o aumento substancial da capacidade de infiltração do solo, mesmo em condição de solo degradado. Além do mais, conforme ressalta Bacellar (2005), embora a infiltração em áreas de florestas seja mais elevada, apenas uma parte da água infiltrada recarrega os aquíferos, uma vez que grande parte retorna à atmosfera pela transpiração.

Desse modo, pode-se compreender a associação negativa das florestas e vazões sob a ótica do consumo hídrico da vegetação, especialmente em condições de seca ou baixa precipitação, afetando a disponibilidade hídrica das sub-bacias nessas circunstâncias.

Nesse sentido, Almeida, Silva e Rodrigues (2013) constataram que a redução de 19% da cobertura florestal implicou no aumento de 60% na vazão média e de 86,3% nas mínimas anuais, em que o escoamento superficial atuou como principal efeito desta mudança. Resultados semelhantes, no que tange à relação entre o percentual de cobertura florestal em bacias e a disponibilidade hídrica dos cursos d'água, podem ser observados em outros estudos, sob diferentes metodologias aplicadas e em condições distintas de vegetação e clima (APARECIDO et al., 2016; HORNBECK et al., 1993), nos quais observaram-se o aumento do rendimento hídrico com a diminuição das áreas de florestas.

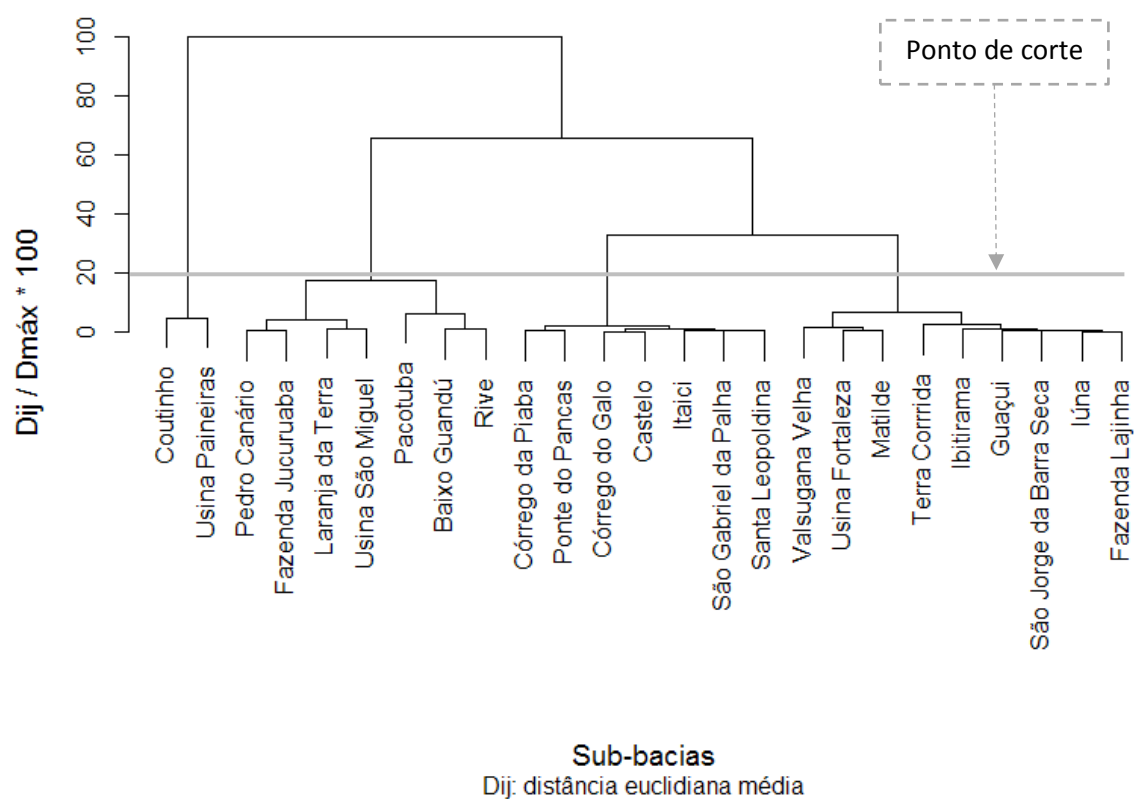
A partir dos resultados obtidos, que mostram respostas distintas das observadas na análise de todas as 25 sub-bacias em conjunto, há de se considerar, ainda, a possibilidade de que, além da precipitação, o tamanho das sub-bacias hidrográficas estudadas possa também exercer influência na resposta hidrológica destas. Assim, a fim de verificar esta provável influência, considerou-se a área de drenagem como um critério para a realização de agrupamento.

5.2.2. AGH por características de área de drenagem das sub-bacias

A análise de agrupamento realizada para as sub-bacias, unindo-as por características similares de área de drenagem, deu origem a quatro grupos distintos (Figura 10). Um dos grupos formados, constituído pelas sub-bacias Coutinho e

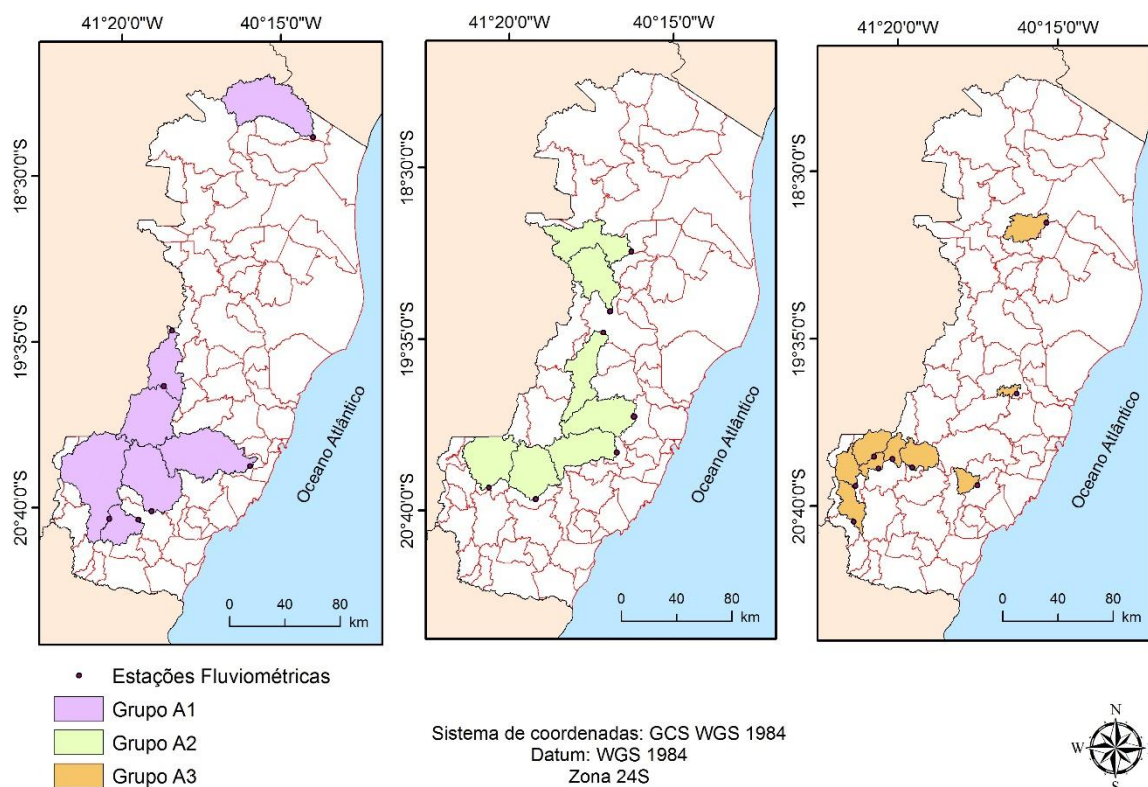
Usina Paineiras, as maiores de todo o conjunto de dados, foi descartado desta análise por ser composto por apenas duas sub-bacias. A representação das sub-bacias de cada grupo é evidenciada na Figura 14.

Figura 13 – AGH das sub-bacias por características de área de drenagem.



Fonte: a autora.

Figura 14 – Disposição dos grupos de sub-bacias formados no AGH em função da área de drenagem.



Fonte: a autora. Base de dados obtida junto ao IBGE (2010) e à ANA (2010).

A formação dos demais grupos mantidos – Grupo A1, Grupo A2 e Grupo A3 –, com as sub-bacias e suas respectivas áreas, está representada na Tabela 5. De acordo com o observado, o Grupo A1 é composto pelas maiores sub-bacias, o Grupo A2 pelas sub-bacias de tamanho intermediário, e o Grupo A3 pelas menores sub-bacias entre as estudadas.

Tabela 8 – Caracterização dos grupos formados em função da área de drenagem das sub-bacias.

Grupos	Sub-bacias	Área (km ²)	Média (km ²)	DP (km ²)
Grupo A1	Rive	2.221,0	1.895,4	503,2
	Baixo Guandú	2.143,2		
	Pacotuba	2.759,6		
	Usina São Miguel	1.457,5		
	Laranja da Terra	1.331,7		
	Fazenda Jucuruaba	1.688,6		
	Pedro Canário	1.665,9		
Grupo A2	Córrego da Piaba	879,4	977,5	60,2
	Ponte do Pancas	919,3		
	Córrego do Galo	979,0		
	Castelo	976,1		
	Itaici	1.047,4		
	Santa Leopoldina	1.011,6		
	Barra de São Gabriel	1.029,4		
Grupo A3	Valsugana Velha	90,3	354,4	154,9
	Usina Fortaleza	223,0		
	Matilde	207,3		
	Terra Corrida	594,0		
	Ibitirama	341,6		
	Guaçuí	411,9		
	São Jorge da Barra Seca	451,7		
	Lúna	433,5		
	Fazenda Lajinha	436,2		

Fonte: a autora; DP: Desvio padrão.

Para cada um destes grupos formados, foram realizadas as análises de regressão simples, regressão múltipla e correlação parcial para as variáveis estudadas. Os resultados da análise de regressão simples estão expostos na Tabela 9.

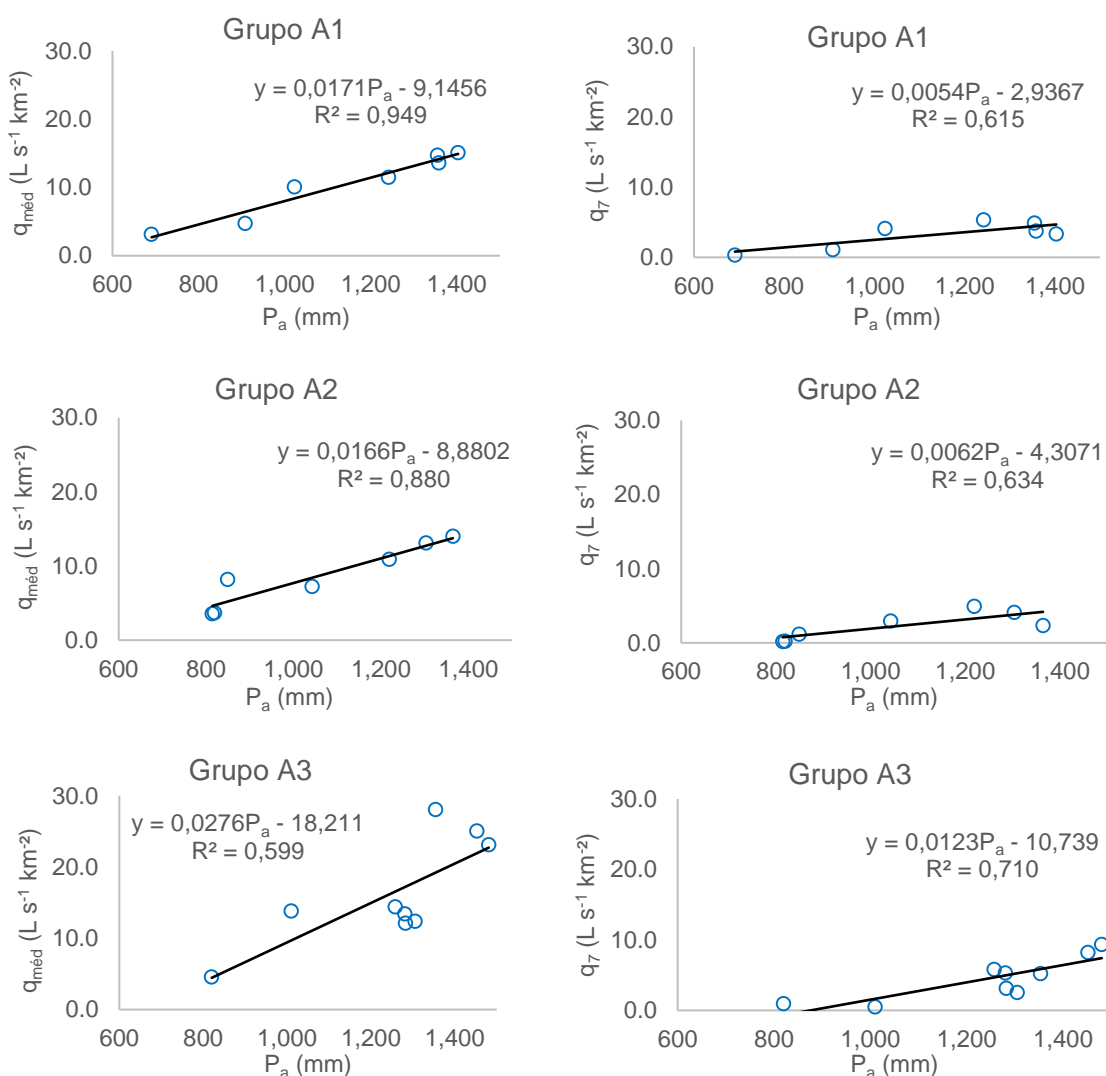
Tabela 9 – Relação das vazões com o percentual de floresta e com a precipitação nos grupos formados em função da área de drenagem das sub-bacias.

Grupos	Variável	q _{méd}		q ₇	
		R ²	Valor-p*	R ²	Valor-p*
Grupo A1	P _a	0,949	2,01E-04	0,615	0,037
	Floresta	0,165	0,365	0,359	0,155
Grupo A2	P _a	0,880	0,002	0,635	0,032
	Floresta	0,000	0,986	0,151	0,390
Grupo A3	P _a	0,599	0,014	0,710	0,004
	Floresta	0,088	0,437	0,000	0,962

Fonte: a autora; *Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F (regressão linear simples); P_a – precipitação total anual (mm); q_{méd} – vazão específica média anual (L s⁻¹ km⁻²); q₇ – vazão específica mínima com sete dias de duração (L s⁻¹ km⁻²).

Apenas a precipitação foi significativa para a $q_{\text{méd}}$ e q_7 , nos três grupos formados (Tabela 9). Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) das relações significativas variaram entre 0,60 e 0,95, indicando boa relação. Os gráficos de tendência para as associações significativas estão ilustrados na Figura 15. Em seguida, na Tabela 10, podem ser verificados os resultados referentes à análise de regressão múltipla e análise de correlação parcial entre as variáveis estudadas.

Figura 15 – Gráficos das relações significativas da regressão simples para os grupos formados em função da área de drenagem.



Fonte: a autora.

Tabela 10 – Relação das vazões com o percentual de floresta e precipitação total anual (P_a), para os grupos formados no AGH por características de área de drenagem das sub-bacias.

Grupos	Variável	$q_{\text{méd}}$				q_7			
		R^2	Valor- p^*	r_p	Valor- p^*	R^2	Valor- p^*	r_p	Valor- p^*
Grupo A1	P_a	0,956	0,002	0,973	0,001	0,676	0,105	0,704	0,119
	Floresta			-0,356	0,489			-0,870	0,434
Grupo A2	P_a	0,925	0,006	0,962	0,002	0,685	0,099	0,793	0,060
	Floresta			-0,613	0,196			0,370	0,470
Grupo A3	P_a	0,641	0,046	0,778	0,023	0,717	0,023	0,846	0,008
	Floresta			0,323	0,435			-0,156	0,712

Fonte: a autora; *Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F; r_p – coeficiente de correlação parcial; P_a – precipitação total anual (mm); $q_{\text{méd}}$ – vazão específica média anual ($\text{L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$); q_7 – vazão específica mínima com sete dias de duração ($\text{L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$).

Mediante as análises deste agrupamento, verificou-se que o percentual de cobertura florestal não exerceu influência significativa sobre as vazões em nenhum dos grupos formados, seja avaliando-se o efeito isolado da variável, através da regressão simples, seja avaliando-se o efeito combinado com a precipitação, por meio da regressão múltipla e da correlação parcial. Nessas análises, apenas a precipitação total anual influenciou de forma significativa.

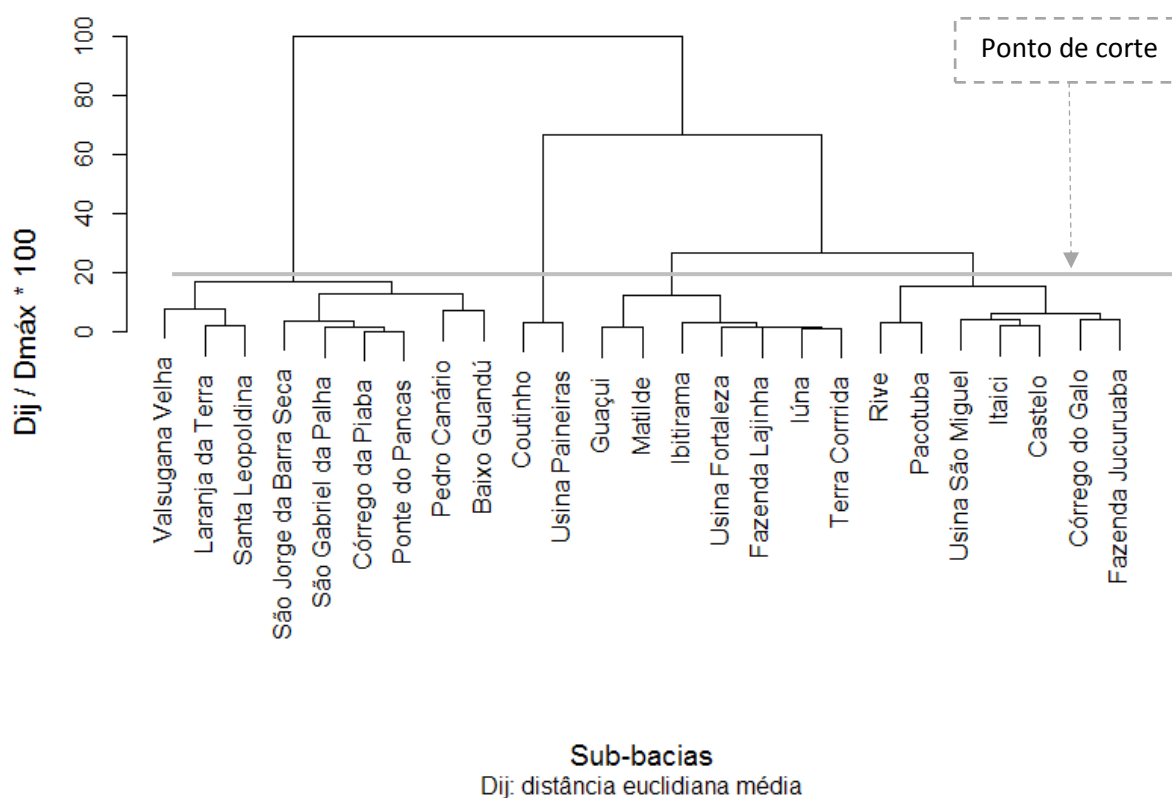
A falta de relação entre a cobertura florestal e as vazões também foi detectada por Almeida (2007). Em seu estudo desenvolvido na bacia do Córrego do Galo, o autor verificou que não foi possível encontrar uma relação entre a remoção ou o incremento de áreas florestais e a dinâmica hidrológica da bacia. O autor ressalta, ainda, que a área significativa da bacia em estudo (acima de 900 km^2) dificultou o controle de todos os agentes que poderiam interferir na sua dinâmica.

Ao agrupar as sub-bacias quanto ao critério de tamanho, formou-se grupos de bacias cujas precipitações eram bastante variáveis entre si. Isto pode ter influenciado os resultados obtidos, uma vez que o efeito da floresta pode ter sido mascarado pela heterogeneidade das precipitações. Além disso, as sub-bacias em estudo apresentam áreas expressivas, com médias de $1.895,4 \text{ km}^2$ para o Grupo A1, $977,5 \text{ km}^2$ para o Grupo A2 e $354,4 \text{ km}^2$ para o Grupo A3. Para Bruijnzeel (1996), em grandes bacias têm-se um menor controle de eventos e ações, com maior heterogeneidade de fatores ambientais, o que pode explicar a atuação predominante da precipitação nas análises realizadas.

5.2.3. AGH por características de área de drenagem e de precipitação pluviométrica

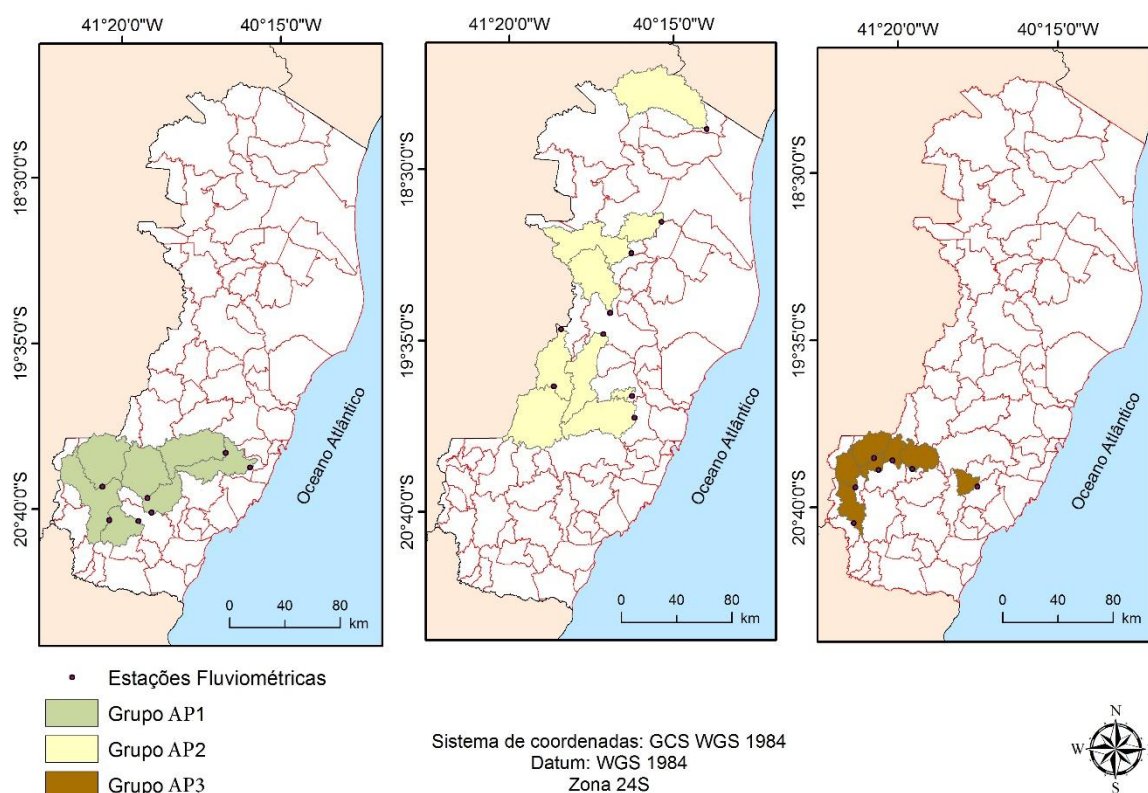
O terceiro agrupamento consistiu na união das sub-bacias conforme os critérios de áreas de drenagem e de precipitação pluviométrica similares. Esse agrupamento, no ponto de corte selecionado, deu origem a quatro grupos. Tal como nos demais agrupamentos, o quarto grupo, formado pelas sub-bacias Coutinho e Usina Paineiras, foi descartado da análise por ser composto apenas por duas sub-bacias (Figura 16). Na Figura 17 consta a representação das sub-bacias de cada grupo formado.

Figura 16 – AGH por características de áreas de drenagem e de precipitação similares entre si.



Fonte: a autora.

Figura 17 – Disposição dos grupos de sub-bacias formados no AGH em função da precipitação pluviométrica e da área de drenagem.



Fonte: a autora. Base de dados obtida junto ao IBGE (2010) e à ANA (2010).

Na Tabela 11 são apresentadas as sub-bacias de cada grupo formado e suas respectivas áreas e precipitações totais anuais. O agrupamento reuniu: as sub-bacias de maior área e precipitação intermediária; as sub-bacias de tamanhos variados, com área média intermediária, e as menores precipitações; e as menores sub-bacias com as maiores precipitações. Definiu-se, de acordo com esses agrupamentos, a formação dos seguintes grupos: Grupo AP1, Grupo AP2 e Grupo AP3, respectivamente.

Tabela 11 – Caracterização dos grupos formados em função da área de drenagem e precipitação das sub-bacias.

Grupos	Sub-bacias	Área (km ²)	Média (km ²)	DP (km ²)	Precipitação (mm)	Média (mm)	DP (mm)
Grupo AP1	Córrego do Galo	979,0	1.589,9	687,8	1.218,8	1.320,8	68,6
	Fazenda Jucuruaba	1.688,6			1.241,8		
	Castelo	976,1			1.364,7		
	Pacotuba	2.759,7			1.358,5		
	Rive	2.221,0			1.355,0		
	Itaici	1.047,4			1.303,4		
	Usina São Miguel	1.457,5			1.403,1		
Grupo AP2	Pedro Canário	1.665,9	1.058,0	610,3	690,8	886,3	118,6
	Baixo Guandú	2.143,2			908,0		
	Barra de São Gabriel	1.029,4			848,8		
	Ponte do Pancas	919,3			814,3		
	São Jorge da Barra Seca	451,7			820,3		
	Córrego da Piaba	879,4			818,8		
	Santa Leopoldina	1.011,6			1.042,2		
	Laranja da Terra	1.331,7			1.023,2		
	Valsugana Velha	90,3			1.010,1		
Grupo AP3	Guaçuí	411,9	378,2	134,6	1.452,5	1.345,0	88,7
	Matilde	207,3			1.480,9		
	Iúna	433,5			1.257,8		
	Usina Fortaleza	223,0			1.282,6		
	Ibitirama	341,6			1.354,2		
	Terra Corrida	594,0			1.281,2		
	Fazenda Lajinha	436,2			1.305,7		

Fonte: a autora; DP: desvio padrão.

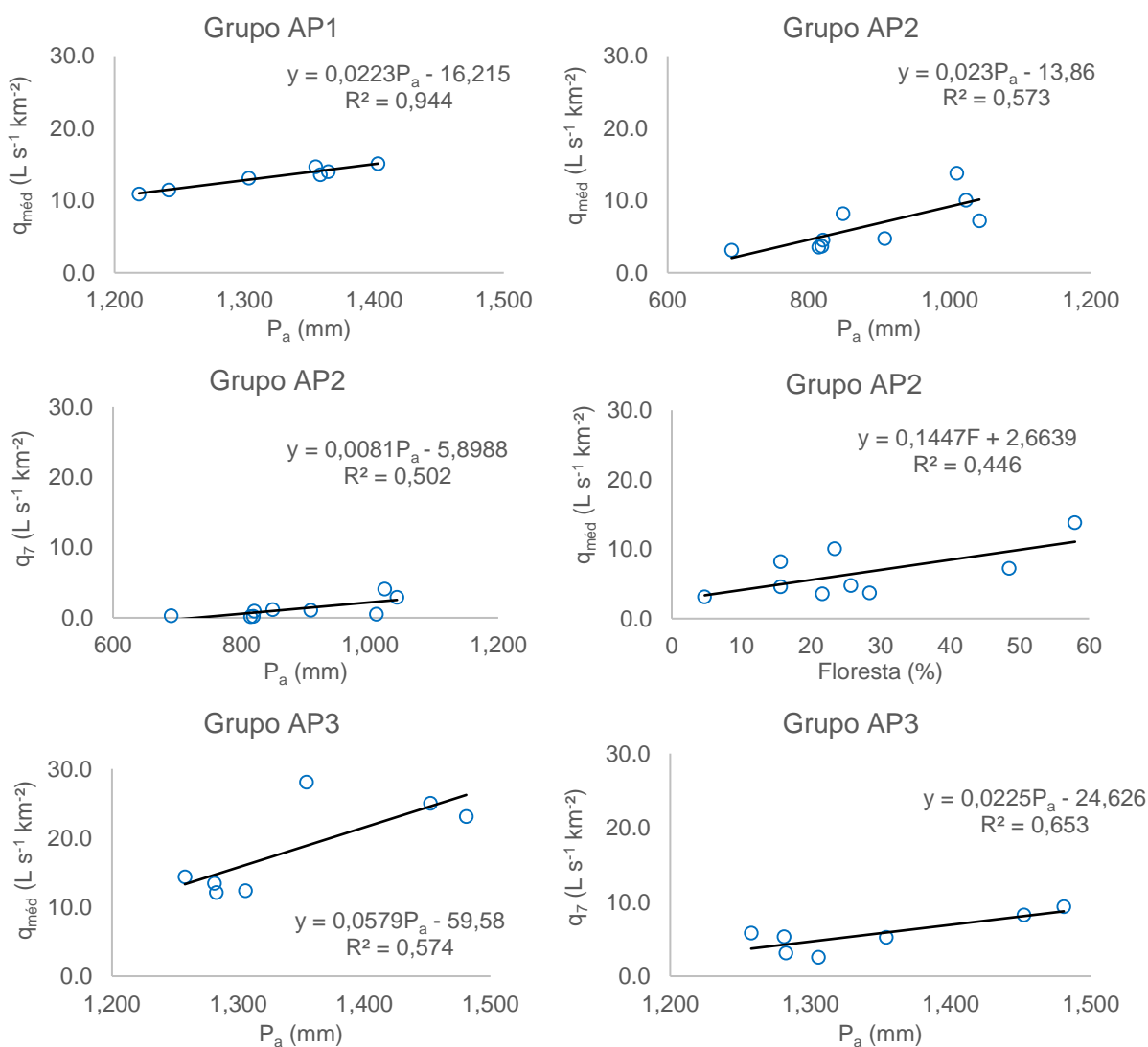
As análises estatísticas de regressão simples, regressão múltipla e correlação parcial foram novamente realizadas para cada um dos grupos formados. Os resultados da análise de regressão simples podem ser verificados na Tabela 12. Para as associações significativas, os gráficos de tendência estão ilustrados na Figura 18.

Tabela 12 – Relação das vazões com a cobertura florestal e com a precipitação para os grupos formados em função da área e precipitação das sub-bacias.

Grupos	Variável	$q_{\text{méd}}$		q_7	
		R^2	Valor- p^*	R^2	Valor- p^*
Grupo AP1	P_a	0,944	2,55E-04	0,515	0,069
	Floresta	0,386	0,136	0,085	0,525
Grupo AP2	P_a	0,573	0,018	0,502	0,033
	Floresta	0,446	0,049	0,034	0,637
Grupo AP3	P_a	0,574	0,048	0,653	0,028
	Floresta	0,159	0,376	0,144	0,400

Fonte: a autora; *Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F (regressão linear simples); P_a – precipitação total anual (mm); $q_{\text{méd}}$ – vazão específica média anual ($\text{L s}^{-1} \text{km}^{-2}$); q_7 – vazão específica mínima com sete dias de duração ($\text{L s}^{-1} \text{km}^{-2}$).

Figura 18 – Gráficos das relações significativas da regressão simples para os grupos formados em função da área e precipitação das sub-bacias.



Fonte: a autora.

Nesse agrupamento, ao se reunir sub-bacias com tamanhos e precipitações mais homogêneos entre si, foi possível identificar uma relação significativa positiva entre a cobertura florestal e a vazão média no Grupo AP2 (Tabela 12). O Grupo AP2 desse agrupamento se assemelha ao Grupo P3 formado no agrupamento por precipitação, sendo, no entanto, acrescido das sub-bacias Santa Leopoldina, Laranja da Terra e Valsugana Velha. Quando da ausência dessas três sub-bacias, não foram detectadas quaisquer associações da cobertura florestal com a $q_{\text{méd}}$, o que indica que estas sub-bacias foram determinantes para o estabelecimento de uma relação entre as variáveis.

As sub-bacias Laranja da Terra, Santa Leopoldina e Valsugana Velha estão entre as sub-bacias com os maiores percentuais de floresta, com cerca de 23%, 49% e 58%, respectivamente; abrangem os municípios de Santa Maria de Jetibá, Santa Leopoldina, Santa Teresa, Afonso Cláudio, Brejetuba e Laranja da Terra e, de acordo o mapa de altimetria do terreno, apresentam elevadas altitudes, com até 1530 metros, e declividades médias de 19°, 18° e 16°, respectivamente. Lima, Ferraz e Ferraz (2013) abordam que em regiões mais elevadas a presença de áreas florestais são particularmente importantes por contribuírem para com o aumento da infiltração da água no solo e posterior recarga de aquíferos.

Além disso, a contribuição das florestas para os fluxos de água no solo poderia se dar nessas áreas pela proteção do solo contra a compactação causada pela chuva, melhoria das condições de infiltração e armazenamento de água pela serapilheira, tal como mostrou Vallejo (1982), em Floresta da Tijuca, em que a capacidade de retenção de água pela serapilheira chegou a 130% em relação ao seu peso seco.

Na Tabela 13 podem ser verificados os resultados referentes à análise de regressão múltipla e correlação parcial entre as vazões e as variáveis precipitação total anual e cobertura florestal.

Tabela 13 – Relação das vazões com o percentual de floresta e precipitação total anual (P_a), para os grupos formados em função da área e precipitação das sub-bacias.

Grupos	Variável	$q_{\text{méd}}$				q_7			
		R^2	Valor- p^*	r_p	Valor- p^*	R^2	Valor- p^*	r_p	Valor- p^*
Grupo AP1	P_a	0,949	0,003	0,958	0,003	0,539	0,213	-0,704	0,118
	Floresta			-0,299	0,562			-0,218	0,677
Grupo AP2	P_a	0,586	0,071	0,503	0,204	0,879	0,002	0,935	0,001
	Floresta			0,174	0,680			-0,870	0,005
Grupo AP3	P_a	0,610	0,152	0,733	0,098	0,723	0,077	0,822	0,044
	Floresta			-0,290	0,577			-0,449	0,371

Fonte: a autora; *Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F; r_p – coeficiente de correlação parcial; P_a – precipitação total anual; $q_{\text{méd}}$ – vazão específica média anual ($L s^{-1} km^{-2}$); q_7 – vazão específica mínima com sete dias de duração ($L s^{-1} km^{-2}$).

Observa-se que no grupo das maiores sub-bacias (Grupo AP1), com chuvas de valores intermediários, em relação aos outros grupos, as vazões mínimas não foram influenciadas significativamente em nenhuma das análises estatísticas realizadas, diferentemente do ocorrido nos grupos AP2 e AP3. Pode-se compreender isto a partir da perspectiva de que, em grandes bacias, a sensibilidade a fatores dominantes da geração de deflúvio, como precipitações intensas e uso do solo, é menor, sendo o armazenamento tão mais pronunciado que a variação nas vazões é mínima ou inexpressiva (LIMA, 2008).

De acordo com Costa et al. (2003), as alterações no uso do solo influenciam vazões de bacias hidrográficas pequenas, de até $1 km^2$. Neste estudo, entretanto, foi possível identificar, a partir das análises de agrupamento, associações significativas em grupos de bacias com áreas de contribuição variáveis, todas acima de $90 km^2$. Associações entre o uso da terra e as vazões de bacias grandes também podem ser verificadas em Costa et al. (2003), os quais identificaram associações entre o uso do solo e as vazões para uma bacia de $175,360 km^2$.

Ao se analisar a relação combinada das variáveis precipitação total anual e cobertura florestal sobre as vazões (Tabela 13), observou-se melhor ajuste em comparação às regressões simples individuais para a q_7 do Grupo AP2 ($R^2 = 0,879$). Além disso, a q_7 passou a ser influenciada significativamente pela cobertura florestal nesse grupo, com tendência negativa. Supõe-se que o fato de o Grupo AP2 ser formado pelas menores precipitações pode ter sido determinante, uma vez que, como a tendência anual foi de baixas precipitações, as vazões mínimas nos períodos de estiagem podem ter sido mais sensíveis às chuvas ocorridas, bem como

à demanda hídrica das florestas, provavelmente maior nos períodos mais quentes e secos.

Diante dos resultados obtidos, evidenciou-se que, em alguns casos, a cobertura florestal influenciou significativamente a vazão, em especial na q_7 . Esta vazão, geralmente associada a um período de retorno, pode ser utilizada na elaboração de projetos de recursos hídricos e concessão de uso da água, nos quais pode-se empregar estudos de regionalização hidrológica, pela carência de dados. Pruski et al. (2012) comentam que para a regionalização aplicam-se variáveis físicas e climáticas associadas aos processos hidrológicos. Freitas (2003), ao estudar métodos e variáveis explicativas na regionalização de uma bacia, comprovou que as variáveis que descreviam a cobertura vegetal beneficiaram claramente a qualidade dos modelos gerados. A autora ressalta, ainda, que a utilização da cobertura vegetal como variável explicativa, associada às características físicas e climáticas da bacia pode levar à descrição dos processos físicos de forma muito mais integrada, contribuindo para com o processo de regionalização hidrológica.

Sob tal perspectiva, nota-se, então, a importância de se considerar a cobertura florestal na realização de estudos hidrológicos e projetos que envolvam o uso e gerenciamento dos recursos hídricos, admitindo-se as relações que a floresta pode estabelecer com a hidrologia de bacias hidrográficas.

No presente trabalho, constatou-se que a relação existente entre o percentual de cobertura florestal presente nas sub-bacias analisadas e suas respectivas vazões anuais, para dados referentes ao ano hidrológico de 2007/2008, em sua grande maioria, indica que o aumento de uma variável se relaciona à diminuição da outra, contrariando a percepção popular de que as florestas teriam a capacidade de aumentar a quantidade de água disponível em um curso d'água.

Apesar disso, tal resultado não é de todo modo inesperado, uma vez que diversos estudos científicos, com aplicação de diferentes metodologias e em diferentes condições ambientais ao redor do mundo, observaram a mesma condição de relação inversa, sob a perspectiva do consumo hídrico por parte da vegetação e das condições de escoamento (ALMEIDA; SILVA; RODRIGUES, 2013; BENT, 2001; HIBBERT, 1967; HORNBECK et al., 1993; LATUF, 2007; MENDES, 2016; SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010; TRANCOSO, 2006). Entretanto, fatores relacionados

à qualidade ambiental das bacias hidrográficas e dos recursos hídricos mostram-se frequentemente relacionados à presença de cobertura florestal.

Cabral e Reis (2015) verificaram que as áreas desprovidas de vegetação se relacionaram diretamente ao aumento da concentração de sedimentos suspensos em cursos d'água. A partir de simulação hidrológica, Andrade et al., (2017) identificaram, em bacia do Nordeste brasileiro, que a inserção de 6,35% de áreas de Caatinga arbustiva resultou na redução do escoamento superficial em 1,95%, considerando-se características físicas como índice de área foliar, relação biomassa/taxa de energia, altura do dossel, entre outros. Ao verificarem a expectativa de perda de solo em uma sub-bacia integrante de programa de inserção de áreas florestais, Zolin et al (2011) observaram que a correta alocação de florestas são determinantes para maximizar o potencial de conservação dos solos nas bacias hidrográficas, com potencialidade para reduzir, nesse estudo, até 91% da perda de solo.

A qualidade da água também pode ser influenciada pela presença de cobertura florestal nas bacias hidrográficas, seja pelo controle do escoamento superficial e produção de sedimentos, seja pela melhoria das propriedades químicas do recurso disponível. Isto é evidenciado por Donadio, Galbiatti e Paula (2005), os quais observaram que nascentes submetidas à ambiente de vegetação natural apresentaram melhor qualidade da água, principalmente com relação à cor, à turbidez, à alcalinidade e ao nitrogênio total.

As florestas desempenham ainda papel importante na atenuação dos efeitos negativos do efeito estufa pela captura de CO₂ da atmosfera. Isto pode ser verificado no estudo de Doubrawa et al. (2014), que constataram que o aumento de 22,93% de áreas de florestas foi responsável por realizar a fixação de 206,81 Tg de carbono equivalente, representando 93,53% do carbono estocado, concluindo que a floresta nativa é a maior responsável pelo armazenamento de carbono na bacia estudada. Além disso, as florestas atuam como barreira à radiação solar incidente e na regulação microclimática, protegendo a superfície do solo dos efeitos diretos da radiação, diminuindo as ilhas de calor e temperatura da superfície (PEREIRA et al., 2016b).

Diante desse cenário, cabe ressaltar que os benefícios das florestas em bacias hidrográficas, se não se relacionam diretamente ao aumento do rendimento hídrico

anual dos cursos d'água, atuam indiretamente na manutenção da qualidade do recurso disponível, sobretudo a longo prazo. Por isso, ainda que o aumento das áreas de floresta implicasse em alguma redução expressiva no volume de água disponível em bacias, a remoção dessas áreas para fins de aumento das vazões não seria justificável, uma vez que outros fatores podem comprometer a qualidade ambiental local e afetar a disponibilidade de água para abastecimento urbano, rural ou industrial.

Ademais, tal como ocorrido no Grupo AP3 do agrupamento por características de área e de precipitação, outras situações com relações positivas entre a cobertura florestal e a vazão anual podem ocorrer no estado do Espírito Santo, não sendo detectadas pelos métodos aplicados. Ainda, considera-se que as grandes dimensões das sub-bacias analisadas e a não inserção de um maior número de variáveis ambientais podem ter influenciado, de alguma forma, para que não tenham sido identificadas outras relações significativas, além das mencionadas neste estudo, não implicando dizer que quaisquer outras relações não existam.

6. CONCLUSÕES

De posse dos resultados obtidos com a realização deste estudo, para o ano hidrológico de 2007/2008, conclui-se que:

- As diferentes formas de analisar os dados foram determinantes para o fornecimento de respostas e detecção de significâncias, sobretudo quanto à relação entre a cobertura florestal e as vazões. Isto indica que novas metodologias podem ser aplicadas em escala de bacias ou grupos de bacias, a fim de se obter novos detalhamentos dessa complexa associação.
- A presença de maior cobertura florestal não implicou, necessariamente, em maior disponibilidade hídrica nas sub-bacias do Espírito Santo.
- As vazões mínimas com sete dias de duração (q_7) mostraram-se mais sensíveis à presença da cobertura florestal, havendo, quando significativas, associações com tendências negativas entre essas variáveis.
- A vazão média ($q_{\text{méd}}$), no grupo AP2, formado no agrupamento em função da área de drenagem e precipitação, o qual é constituído pelas sub-bacias Pedro Canário, Baixo Guandú, Barra de São Gabriel, Ponte do Pancas, São Jorge da Barra Seca, Córrego da Piaba, Santa Leopoldina, Laranja da Terra e Valsugana Velha, foi influenciada positivamente pela cobertura florestal.
- Em regiões onde a precipitação é maior, esta atua majoritariamente, influenciando as respostas hidrológicas das sub-bacias. Além disso, a precipitação atuou na maioria das associações, em todas as análises executadas, evidenciando a estreita relação entre as vazões $q_{\text{méd}}$ e q_7 e as chuvas incidentes no estado.
- Os resultados para a região formada pelas sub-bacias Córrego do Galo, Fazenda Jucuruaba, Iúna, Usina Fortaleza, Terra Corrida, Itaici e Fazenda Lajinha indicam que fatores não estudados neste trabalho estão predominantemente relacionados às alterações nas vazões desses locais. Assim, supõe-se que, para o melhor entendimento do regime hidrológico das áreas estudadas, necessita-se desenvolver estudos específicos que abordem novas variáveis ambientais e antrópicas.

7. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH). **Mais de 30 municípios em situação crítica por falta de chuva**. Disponível em: <<https://agerh.es.gov.br/Notícia/mais-de-30-municipios-em-situacao-critica-por-falta-de-chuva>>. Acesso em: 29 mar. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2016. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- _____. **Espírito Santo**. 2017. 59 p. Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br/cd4/es.doc>. Acesso em: 13 fev. 2017.
- _____. **GEO Brasil**: recursos hídricos. Brasília: MMA/ANA, 2007. 60 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/wfa/sa/GEO%20Brasil%20Recursos%20H%C3%ADricos%20-%20Resumo%20Executivo.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2017.
- _____. **Sistema de informações hidrológicas (Hidroweb)**: arquivos digitais. 2010. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?Tocltem=4100>>. Acesso em: 13 fev. 2017.
- ALMEIDA, A. Q. DE. **Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Córrego do Galo, Domingos Martins, ES**. 2007. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2007. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/tesesmonografias/tese_site/tese_andre_quinta_o.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- ALMEIDA, J. R. de; SILVA, C. E.; RODRIGUES, M. G. Avaliação dos impactos ambientais do desflorestamento sobre o regime hídrico da região metropolitana de Petrópolis (RJ). **Engineering Sciences**, v. 1, n. 1, p. 6–13, 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.6008/ESS2318-3055.2013.001.0001>>. Acesso em: 07 abr. 2017.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ANDRADE, C. W. L. DE et al. Modelagem hidrológica sob mudanças na cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 239–248, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1446.239-248>>. Acesso em: 01 dez. 2017.
- ANDRADE, M. A.; DE MELLO, C. R.; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 69-76, 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100010>>. Acesso em: 4 mar. 2017.

- ANDRADE, M. S. S. de, **Pegada hídrica verde no Espírito Santo**. 2017. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2017. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_10580_Disserta%E7%E3o%20MARIA%20SUELIANE%202017-Final.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2018.
- ANDRÉASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, v. 291, n. 1-2, p. 1-27, 2004. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015>>. Acesso em: 14 mar. 2017.
- APARECIDO, C. F. F. et al. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga, Botucatu**, v. 21, n. 2, p. 239-256, 2016. Disponível em: <<http://energia.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1977>>. Acesso em: 8 mar. 2017.
- AUGUSTO, L. G. da S. et al. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csc/v17n6/v17n6a15.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2017.
- BACCI, D. D. L. C.; PATAÇA, E. M. Educação para a água. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 211-226, 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10302/11957>>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- BACELLAR, L. D. A. P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo.br**, v. 1, p. 1-39, 2005. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/deaer/download/VIVIEN/Texto06/exartigorevisao.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- BALBINOT, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, v.4, n.1, p. 131-149, 2008. Disponível em: <<http://www.redeacqua.com.br/wp-content/uploads/2011/09/PAPEL-DA-FLORESTA.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2017.
- BENT, G. C. Effects of forest-management activities on runoff components and ground-water recharge to Quabbin Reservoir, central Massachusetts. **Forest Ecology and Management**, v. 143, p. 115-129, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112700005119>>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- BONNEL, A.; LAVORANTI, O. J.; CURCIO, G. R. Epífitos vasculares no Corredor de Biodiversidade Araucária, bacia do rio Iguaçu, Paraná, Brasil. **Caderno Biodiversidade**, v. 6, n. 2, p. 49-70, 2009. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/32657/1/epicitos-vasculares-no-corredor-de-biodiversidade.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2017.
- BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. IHP.IAHS.UNESCO, 1990. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0009/000974/097405eo.pdf>> Acesso em: 7 dez. 2017.

_____. Predicting the hydrological impacts of tropical forest conversion: the need for integrated research. In: GASH, J. H.C; NOBRE, C.A; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (Orgs.). **Amazonian Deforestation and Climate**. Chichester: John Wiley & Co, 1996.

BRUNI, J. C. A água e a vida. **Tempo Social**, v. 5, n. 1/2, p. 53-65, 1993. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/ts/article/view/84942/87671>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

CABRAL, S. L; REIS, R. S. Influência do uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 32, n. 2, p. 147-157, 2015. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/659/646>>. Acesso em: 9 mar. 2017.

CALDER, I. R. Forests and water-ensuring forest benefits outweigh water costs. **Forest Ecology and Management**, v. 251, n. 1-2, p. 110-120, 2007. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.015>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

CAPOANE, V. et al. Distribuição espacial do fósforo disponível do solo em uma bacia hidrográfica agrícola e sua relação com os fatores ambientais uso da terra e declividade. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 4, p. 711-728, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i4.976>>. Acesso em: 9 mar. 2017.

CARVALHO, C. D. V. et al. Estimativas de vazões máximas de escoamento superficial mediante uso do software Hidrobacia sob diferentes usos do solo em microbacia do sul do Espírito Santo. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 16, n. 2, p. 199-228, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.5935/RECEN.2014.02.03>>. Acesso em: 9 mar. 2017.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015. p. 485-523.

COSTA, M.H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J.A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.283, n.1-4, p.206-217, 2003. Disponível em <[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1)>. Acesso em: 04 jan. 2018.

COSTA NETO, P. L. DE O. **Estatística**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2002.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/d10e0ca961a111adf95ca28c21078539_a24fb6762c28e81794b336c73d4e5121.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

DE PAULA, A. Espírito Santo. In: CAMPANILI, M.; PROCHNOW, M. **Mata atlântica: uma rede para a floresta**. Brasília: RMA, 2006. p. 114-129. Disponível em: <<http://www.apremavi.org.br/mata-atlantica/uma-rede-pela-floresta/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

DEUS, C. E. **O papel da formiga saúva (Gênero ATTA) na hidrologia e erosão dos solos em ambiente de pastagem, Bananal, SP**. 1991. 236f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1991.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 115-125, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/eagri/v25n1/24877.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

DOUBRAWA, B. et al. Remoção de CO₂ associada à dinâmica da cobertura florestal na bacia hidrográfica do rio Iguaçu no período 2000-2010. **Interciência**, v. 39, n. 8, p. 562-570, 2014. Disponível em: <http://www.interciencia.org/v39_08/562.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2017.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. Agrupamento da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Brígida-PE, através da multivariada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 39-46, 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/geografiafisica/article/view/12146/14728>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

FERREIRA, M. M.; REIS, J. A. T. DOS; MANDONÇA, A. S. F. Estimativas de vazões máximas para cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Itapemirim. **Revista CIATEC**, v. 7, n. 1, p. 67-78, 2015. Disponível em: <<http://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/4217/3418>>. Acesso em: 06 mar. 2017.

FREITAS, A. L. DE. **Contribuição ao processo de regionalização de vazões: análise de métodos e variáveis explicativas**. 2003. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2003. Disponível em: <http://www.bdt.d.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/5823/arquivo6672_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jan. 2018.

FUJIEDA, M. et al. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 196, p. 26–46, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169497000152>>. Acesso em: 7 jan. 2018.

GARDIMAN JUNIOR, B. S. et al. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica Córrego Do Horizonte, Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 9, n. 2, p. 21-34, 2012. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/Publicacoes/Revistas_2012/3_Perda_Solo_Er>

osao_Hidrica_BHRA.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2017.

GOUVÊA, T. H.; WENDLAND, E. C. Influência de características do solo na variação do nível d'água em região de recarga do Aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 1, p. 55-65, 2011. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=4&SUMARIO=59&ST=influencia_de_caracteristicas_do_solo_na_variacao_do_nivel_d_agua_em_regiao_de_recarga_do_aquifero_guarani>. Acesso em: 19 abr. 2017.

GROPPO, J. D. et al. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências**, v. 24, n. 2, p. 181–193, 2005. Disponível em <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9733>>. Acesso em: 9 dez. 2017.

HELLWEGER, F. **AGREE – DEM Surface Reconditioning System**. Disponível em: <<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/ferdi/research/agree/agree.html>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

HIBBERT, A. R. Forest treatment effects on water yield. **International Symposium For Hydrology**, p. 527-543, 1967. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.545.6751&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

HORNBECK, J. W. et al. Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. **Journal of Hydrology**, v. 150, p. 323-344, 1993. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002216949390115P>>. Acesso em: 14 mar. 2017

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. rev. e amp. Rio de Janeiro, 2012. 271 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

_____. **Malha municipal digital do Brasil**: situação em 2000 e 2010. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS (IEMA). Vitória – ES – 2007-2008. Levantamento Aerofotogramétrico, Apoio de Campo, Aerotriangulação, elaboração Ortofotomosaicos, Modelo Digital de Elevação e Mapeamento da Cobertura Vegetal Nativa e do Uso das Terras, em escala igual, ou melhor, a 1/25.000, do Estado do Espírito Santo. Ortofotomosaico (RGB) 2007/2008 Pixel 1x1m, UTM, Datum WGS84, Zona 24s.1:15.000 PEC "A"(*).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Panorama geral das condições meteorológicas e os principais eventos extremos significativos ocorridos no Brasil em 2016**. 2016. 11 p. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/Panorama-Geral-2016-Brasil.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2017.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 311-322, 2005. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/40n04a01ID-ZVGal16nmo.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

LATUF, M. de O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do Rio Preto e Ribeirão Entre Ribeiros**. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/3686>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 46 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/555374/1/doc33.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2017.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: USP, 2008. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>>. Acesso em: 4 jan. 2018.

LIMA, W.P.; FERRAZ, S.F.B.; FERRAZ, K.M.P.M. Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica. In: CALIJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. (Ed.) **Engenharia ambiental conceitos tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 832p.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Ed.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilheus: Editus, 2002. p. 37-66. Disponível em: <http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/conceitos_de_bacias.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

LUEDELING, E.; SIEBERT, S.; BUERKERT, A. Filling the voids in the SRTM elevation model - A TIN-based delta surface approach. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 62, n. 4, p. 283–294, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.05.004>>. Acesso em: 1 dez. 2017.

MACÊDO, M. DE N. C. et al. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente e Água**, 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.4136/ambi-agua.809>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

MACHADO, A. R.; MELLO JUNIOR, A. V.; WENDLAND, E. C. Avaliação do modelo J2000/JAMS para modelagem hidrológica em bacias hidrográficas brasileiras. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 1-14, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n2/1809-4457-esa-s1413-41522016145177.pdf>>. Acesso em: 6 mar. 2017.

MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, n. 2, p. 137-151, 2009. Disponível em:

<<http://www.rbc.lsie.unb.br/index.php/rbc/article/view/347/337>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

MENDES, N. G. de S. **Estudo das vazões na bacia hidrográfica do rio Itapemirim**. 2016. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2016.

MINOSSO, J.; ANTONELI, V.; FREITAS, A. R. DE. Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. **Geographia Meridionalis**, v. 3, n. 1, p. 86–103, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/Geographis/article/view/11041>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **OECD Environmental outlook to 2050: the consequences of inaction, key findings on water**. 2012. 6 p. Disponível em: <<https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49844953.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **The Dublin statement on water and sustainable development**. 1992. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/documents/english/icwedece.html>>. Acesso em: 27 fev. 2017.

PEREIRA, B. W. de F. et al. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 2, p. 472-485, 2016a. Disponível em: <<http://doi.org/10.4136/ambi-agua.1802>>. Acesso em: 9 mar. 2017.

PEREIRA, C. C. et al. Avaliação da temperatura de superfície continental (TSC) e o uso da terra na bacia da usina hidrelétrica de Barra dos Coqueiros (GO), por meio do sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, n. 12, p. 92-107, 2016b. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42348>>. Acesso em: 9 mar. 2017.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a04.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2017.

PRUSKI, F. F. et al. **Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas**: alternativas para atenuar os riscos. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 1, n. 1, p. 51–59, 2012. Disponível em: <https://www2.ufrb.edu.br/wrim/images/wrim-1-1-2012/WRIM.pdf_P.51-59.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018.

SÁ, J. H. M.; CHAFFE, P. L. B.; QUILLER, M. J. J. The influence of the interception process on the precipitation quality in a catchment covered by subtropical Atlantic Forest. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 4, p. 742–751, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011616045>>. Acesso em: 4 jan. 2018.

SANTANA, M. F.; SOUZA, C. A. DE; OLIVEIRA JUNIOR, E. S. Análise de séries temporais de vazão e precipitação na bacia do Rio Paraguai. **Revista GeoPantanal**, v. 8, n. 14, p. 67–89, 2013. Disponível em: <<http://seer.ufms.br/index.php/revgeo/article/view/105/122>>. Acesso em: 22 dez. 2017.

SANTOS, C. A. P.; SANO, E. E.; SANTOS, P. S. Fronteira agrícola e a análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Preto, oeste da Bahia. **Revista Raega**, v. 36, p. 179-207, 2016. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/41679>>. Acesso em: 9 mar. 2017.

SANTOS, E. H. M. dos; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Relação entre o uso do solo e comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 826-834, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n8/v14n08a06.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

SARI, V.; PAIVA, E. M. C. D. DE; PAIVA, J. B. D. DE. Intercepção da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 65–79, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312016000100065&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 4 jan. 2018.

SHIKLOMANOV, I. A. World fresh water resources. In: GLEICK, P. H. (Ed.). **Water in crisis a guide to the world's fresh water resources**. New York: Oxford University Press, 1993. p. 13-24. Disponível em: <https://www.2000litergesellschaft.ch/fileadmin/user_upload/Referenzen_und_Literatur/GLEICK_1993_Water_in_Crisis.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2017.

SILVA, K. R. da et al. Interpolação espacial da precipitação no estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 417-427, 2011. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v18n4/v18n4a8.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2017.

SILVA, R. M. da et al. Efeitos de cenários de uso do solo na vazão e produção de sedimentos na bacia do rio Cobres, Portugal. **Geociências**, v. 35, n. 4, p. 609-622, 2016. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9975>>. Acesso em: 9 mar. 2017.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e a bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Edusp / ABRH, 1997. p. 35-51.

SOUSA, R. D. C. et al. Redistribuição das chuvas pelas copas das árvores em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) no Parque Estadual da Serra do Mar, Cunha - SP. **Rev. Inst. Flor.**, v. 23, n. 1, p. 27–38, 2011. Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/RIF/RevistaF/RIF23-1/RIF23-1_27-38.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2018.

SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (GEOBASES). **Mapeamento da cobertura vegetal nativa e do uso das terras, em escala igual, ou melhor, a 1/25.000, do estado do Espírito Santo**. 2007. Disponível em: <<http://www.geobases.es.gov.br/portal/>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rarv/v30n5/a19v30n5.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

_____. K. C. et al. Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na Floresta Nacional De Ipanema. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 383–390, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622014000200020&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 4 jan. 2018.

TOTTI, R.; VENCOVSKY, R.; BATISTA, L. A. R. Utilização de métodos de agrupamentos hierárquicos em acessos de *Paspalum* (*Graminea poaceae*). **Semina: Ci. Exatas Tecnol**, v. 22, p. 25-35, 2001. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/1524>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

TRANCOSO, R. **Mudanças na cobertura da terra e alterações na resposta hidrológica de bacias hidrográficas na Amazônia**. 2006. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Ralph_Trancoso/publication/299535773>. Acesso em: 18 abr. 2017.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015. 943 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135–152, 1997. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/12/impacto-das-mudan%C3%83%C2%A7as-cobertura-vegetal-no-escoamento.pdf>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: MMA, 2006. 302 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/sqa_3.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2017.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Gestão das Águas**, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v55n4/a18v55n4.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

_____. J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/eav/article/view/10290/11934>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

UDA, P. K.; CORSEUIL, C. W.; KOBAYAMA, M. Evapotranspiração Real da Bacia do Alto Rio Negro, Região Sul Brasileira, por meio do SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) e Balanço Hídrico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 205–217, 2014. Disponível em: https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/161/f50b1f816965ebc91da3b6a3493f9023_ebba24a7386cab8ef8600bb70ebc5f68.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2018.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 10 jun 2017.

VALLEJO, L.R. **A influência do litter florestal na distribuição das águas pluviais**. 1982. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1982. Disponível em: <http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/vallejo,lr.pdf>>. Acesso em 2 jan. 2018.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

WARD JUNIOR, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963. Disponível em: <http://iv.slis.indiana.edu/sw/data/ward.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 2644-2659, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.1002/joc.4518> >. Acesso em: 11 fev. 2017.

ZOLIN, C. et al. Minimização da erosão em função do tamanho e localização das áreas de floresta no contexto do programa "Conservador das Águas". **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2157-2166. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000600030>. Acesso em: 4 jan. 2018.

APÊNDICE A – Script executado na aquisição dos dados de precipitação
pluviométrica

```

+++++++CODE+++++++
+++++++
latMin = 52;
latMax = 66;
lonMin = 130;
lonMax = 139;
x = lon(latMin:latMax,lonMin:lonMax);
y = lat(latMin:latMax,lonMin:lonMax);
clear P
m = 0;
for k = 334:345
a = data(:,k);
m = m + 1;
for j = lonMin:lonMax,
for i = latMin:latMax,
if ~ isnan(a(i,j))
P{m}(i,j) = a(i,j)
end
end
end
end
n = 0;
clear file;
for j = lonMin:lonMax,
for i = latMin:latMax,
if ~ isnan(a(i,j))
n = n + 1;
file(n,1) = n;
file(n,2) = i;
file(n,3) = j;
file(n,4) = lat(i,j);
file(n,5) = lon(i,j);
Panual = 0;
for m = 1:12,
file(n,5+m) = P{m}(i,j);
Panual = Panual + P{m}(i,j);
end
file(n,18) = Panual;
end
end
end
save 'dados.txt' file -ASCII
+++++++CODE+++++++

```

APÊNDICE B – Script executado na análise de correlação parcial

```
+++++CODE+++++
+++++
library(Rcmdr)
dados <- read.table("the current working directory/FileName.txt",h=TRUE)
dadosx <- dados[,c(n)];dados #n = column
rcorr.adjust(dadosx, type="pearson")
partial.cor(dadosx,tests=TRUE)
+++++CODE+++++
```

APÊNDICE C – Script executado para a realização das análises de agrupamento

```

+++++++CODE+++++++
+++++++
rm(list=ls(all=TRUE))
dados <- read.table("the current working directory/FileName.txt",h=TRUE)
dadosx <- dados[c(n)]; dadosx #n = column
m <- dim(dadosx)[1]; n = dim(dadosx)[2]
for(i in 1:n) { dadosx[,i] = (dadosx[,i] - mean(dadosx[,i])) / sd(dadosx[,i]) }; dadosx
d <- dist(dadosx, method = "euclidean")
d <- sqrt(d^2/n)
agrup <- hclust(d, method= "ward")
agrup$height
porcentagem <- agrup$height/agrup$height[length(agrup$height)] * 100
agrup$height <- porcentagem
plot(agrup, main= "Dendrograma (método de Ward)", cex.main=2, xlab= "Sub-
bacias", ylab= "Dij / Dmáx * 100", cex.lab=1.5, sub="Dij: distância euclidiana média",
cex.sub=1.2)
+++++++CODE+++++++

```

ANEXO A – Script executado para abrir o conjunto de dados de precipitação pluviométrica (XAVIER; KING; SCANLON, 2016)

```

+++++++CODE+++++++
clear all, close all
Name = 'prec_monthly_UT_Brazil_v2_198001_201312';
NameFileData = [Name '.nc'];
infor = ncinfo(NameFileData); % request information on the file
dd=ncread(NameFileData, 'prec');% get data
timesteps = size(dd,3); %get length of data (how many days or months of data)
for i = 1:timesteps
data(:, :, i) = rot90(flipr(double(dd(:, :, i)))); % flip and rotate data format
end
dates = double(ncread(NameFileData, 'time'))+ datenum(1980,1,1); % get dates
lon = ncread(NameFileData, 'longitude'); % get lon
lat = ncread(NameFileData, 'latitude'); % get lat
lon = repmat(lon, length(lat), 1); % vector2grid
lat = repmat(lat, 1, length(lon)); %vector2grid
data2show = 1;
daymonthyear = datestr(dates(data2show)); %get the date string of the "data2show"
%% plot data
limits = [-75 -30 -35 10]; %limits to plot
% plot variable
figure, surf(lon, lat, data(:, :, data2show))
view(0,90), shading interp, colorbar, axis(limits)
title(['prec on ' daymonthyear])
+++++++CODE+++++++

```